



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

教育學博士學位論文

개념 관계망 분석을 통한
2009 개정 과학과 교육과정에 따른
교과서 생명 영역의 핵심 주제 및 연계성 분석

Analysis of the Biological Themes and Their
Articulations in Science and Biology Textbooks
Developed under the 2009 Revised Science
Curriculum Using Concept Networks

2016 年 8 月

서울대학교 大學院
科學教育科 生物專攻

朴 亨 庸

개념 관계망 분석을 통한
2009 개정 과학과 교육과정에 따른
교과서 생명 영역의 핵심 주제 및 연계성 분석

Analysis of the Biological Themes and Their
Articulations in Science and Biology Textbooks
Developed under the 2009 Revised Science
Curriculum Using Concept Networks

指導教授 金 永 洙

이 論文을 教育學 博士 學位 論文으로 提出함
2016 年 5 月

서울大學校 大學院
科學教育科 生物專攻
朴 亨 庸

朴亨庸의 博士 學位 論文을 認准함
2016 年 7 月

委 員 長 _____ (인)

副委員長 _____ (인)

委 員 _____ (인)

委 員 _____ (인)

委 員 _____ (인)

국문초록

본 연구에서는 현행 2009 개정 과학과 교육과정에서 가르쳐지고 있는 생명 영역의 핵심 주제, 연계성, 그리고 개념의 체계를 알아보았다. 이를 위하여 학교급별 교과서 각 1종을 대상으로 교과서에 포함된 생물학 내용에 대해 학교급 및 생물학의 핵심 주제별로 내용 분석과 개념 관계망 분석을 수행하였다. 분석을 위해 텍스트로부터 개념을 자동으로 추출하고, 내용 분석과 개념 간 관계의 계산을 통해 개념 관계망을 생성할 수 있는 도구인 개념관계분석 프로그램(Concept Relation Analyzer)을 개발하였다. 개발된 도구를 사용하여 교과서의 생물 내용에 대한 개념 관계망을 생성하였고, 생성된 관계망의 네트워크 분석 결과와 시각화 결과를 양적, 질적으로 분석하여 얻어진 연구의 결과는 다음과 같이 요약될 수 있다.

첫째, 현행 교육과정의 교과서에서는 생명의 6가지 특성인 유기적 구성, 물질대사, 항상성, 연속성, 진화와 다양성, 상호작용에 대한 내용과 생명공학, 과학 탐구과정에 대한 핵심 주제가 모두 포함되고 있었다. 하지만 주제별로 주요 개념을 포함하는 비율이 달라 주제별 편중 정도와 강조 정도는 상이하게 나타났다. 물질대사와 연속성 주제에는 다른 주제들에 비하여 더 많은 주요 개념이 포함되고 있었고, 탐구과정, 생명공학 주제에 대한 내용은 개념 간 관계의 반복 정도가 낮게 나타났다.

둘째, 학교급별 교과서에 나타난 생물 내용의 핵심 주제와 수평적 연계성을 분석한 결과 학교급에 따라 다루어지지 않는 핵심 주제들이 있었다. 특히 중학교에서는 상호작용에 대한 주제가 다루어지지 않아 수평적 연계성이 저해되고 있었다. 그리고 중학교 이후의 교과서에서는 세포 개념이 여러 핵심 주제와 주요 개념들을 연결하는 높은 중심성을 보여 이 개념이 현행 교육과정의 생물학 내용을 대표하는 핵심 개념임을 알 수 있었다.

셋째, 현행 교육과정의 교과서에서는 핵심 주제에 따라 그 내용이 특정 학교급에만 편중되고 있었다. 생물의 유기적 구성과 생명의 연속성 주제를 제외한 대부분의 핵심 주제에서 각 주제를 다루는 최상위 학교급의 교과서

에서 이전 학교급의 내용에 비해 비약적으로 많은 내용이 다루어지고 있는 것으로 나타났다.

넷째, 핵심 주제별 수직적 연계성 분석을 통해 여러 학교급에 걸쳐 반복적으로 다루어지고 있는 내용이 조사되었다. 대표적으로 식물의 광합성(5회), 세포의 구조(3회), 세포 호흡(3회), 유성생식과 감수분열(3회), 생태계의 구성 요소(3회)에 대한 내용이 여러 학교급에서 반복되거나 심화하여 다루어지고 있었다.

다섯째, 일부 핵심 주제는 학교급별 교과서에서 그 학습량이나 내용의 심화 정도에서 급격한 변화를 보이고 있었다. 고등학교 생명과학Ⅱ에서 광합성과 세포 호흡에 대해 분자 수준의 화학 반응을 다루는 내용은 이전 학교급에서 다른 내용의 수준과 큰 격차를 보이며 비약적으로 심화되고 있었다. 생명과학Ⅱ에서 다양한 생명공학 기술을 소개하는 내용도 이전 학교급에서 주로 다른 내용과 낮은 연계성을 보였다. 생명의 연속성 주제와 관련해서는 중학교 과학의 생식과 발생, 유전과 진화에 대한 내용이 초등학교에서 학습한 내용에 비해 학습량과 심화 정도에서 큰 격차를 나타내었다.

본 연구를 통해 도출된 현행 교과서의 생물학 내용에 대한 시사점을 바탕으로 더 나은 생물 교육을 위한 개선이 이루어져야 할 것이다. 그리고 본 연구에서 얻어진 교과서의 생물학 내용에 대한 개념 관계망과 그 연계성에 대한 분석 결과는 현장의 교사들에게는 다른 학교급에서 가르쳐지고 있는 교육 내용에 대한 이해를 제공해 줄 수 있을 것이다. 또한, 학생들에게는 학습해야 할 내용에 대한 전체적인 개관을 제공함으로써 생물학의 핵심 주제와 생물학 지식의 구조를 체계적이고 통합적으로 이해할 수 있도록 하는 발판이 될 것이다.

주요어: 2009 개정 과학과 교육과정, 생물 지식 체계, 개념 관계망, 생물학 핵심 주제, 연계성, 과학 교과서, 생물 교과서, 내용 분석

학번 : 2009-30408

목 차

국문초록	i
목 차	iii
표 목차	v
그림목차	xiii
 I. 서론	1
1. 연구의 필요성 및 목적	1
2. 연구 내용	4
3. 연구의 제한점	5
4. 용어의 정의	6
 II. 이론적 배경	9
1. 지식의 구조와 생물학의 핵심 주제	9
2. 교육과정의 적정성과 연계성	15
3. 텍스트 마이닝과 개념 관계망 분석	19
4. 관련 선행 연구 고찰	32
 III. 연구 방법	48
1. 연구 절차	48
2. 분석 대상 교과서	52
3. 분석 도구	53
4. 분석 방법	56

IV. 연구 결과	71
1. 학교급별 교과서 생명 영역의 학습량과 개념 관계망의 구조적 특성	71
2. 현행 교육과정 생명 영역의 주요 개념과 핵심 주제	75
3. 학교급별 교과서 생물 내용의 개념 체계 및 연계성	104
4. 생명 영역의 핵심 주제에 대한 학교급별 연계성	167
V. 논의	282
1. 학교급별 교과서 생명 영역의 학습량 증가 양상	282
2. 현행 교육과정 생명 영역의 주요 개념과 핵심 주제	285
3. 생명 영역의 핵심 주제에 대한 학교급별 연계성	288
4. 개념 관계망 분석 결과의 교육적 활용 방안	301
VI. 결론 및 후속 연구 과제	304
1. 결론	304
2. 후속 연구 과제	308
VII. 참고 문헌	310
Abstract	321

표 목차

<표 II-1> BSCS와 NSTA에서 제시한 생물학의 통합 원리와 주요 개념	11
<표 II-2> NGSS에 제시된 생물학의 핵심 아이디어	12
<표 II-3> 강순자와 김영주(1988)가 제시한 생물 교과서의 기본 개념	13
<표 II-4> 한국과학창의재단에서 제시한 생명 과학의 핵심 내용 지식	13
<표 II-5> 연계성 분석의 기준과 세부 지표	17
<표 II-6> 개념 관계망 분석의 주요 요소와 의미	22
<표 II-7> 텍스트로부터 개념 관계망을 생성하고 분석하는 다양한 방법	40
<표 III-1> 분석 대상 2009 개정 과학과 교육과정 교과서	52
<표 III-2> 초등학교 3-4학년군 과학 교과서 생명 영역의 단원 및 내용	66
<표 III-3> 초등학교 5-6학년군 과학 교과서 생명 영역의 단원 및 내용	66
<표 III-4> 중학교 과학 교과서 생명 영역의 단원 및 내용	68
<표 III-5> 고등학교 과학 교과서 생명 영역 관련 단원 및 내용	69
<표 III-6> 고등학교 생명과학 I 교과서의 단원 및 내용	70
<표 III-7> 고등학교 생명과학 II 교과서의 단원 및 내용	70
<표 IV-1> 교과서에 포함된 생명 영역의 문장에 대한 내용 분석 결과	72
<표 IV-2> 학교급별 교과서 생명 영역 개념 관계망의 구조적 특성	73
<표 IV-3> 교과서 전체에 대한 주요 개념 관계망의 주요 개념군	79
<표 IV-4> 전체 주요 개념 관계망 ‘유기적 구성’ 개념군의 주요 개념	81
<표 IV-5> 교과서 전체 개념 관계망 ‘세포’ 개념 중심의 주요 관계	81
<표 IV-6> 전체 주요 개념 관계망 ‘물질 대사’ 개념군의 주요 개념	83
<표 IV-7> 교과서 전체 개념 관계망 ‘에너지’ 개념 중심의 주요 관계	84
<표 IV-8> 교과서 전체 개념 관계망 ‘광합성’ 개념 중심의 주요 관계	84
<표 IV-9> 교과서 전체 개념 관계망 ‘세포 호흡’ 개념 중심의 주요 관계	85

<표 IV-10> 전체 주요 개념 관계망 ‘항상성’ 개념군의 주요 개념	86
<표 IV-11> 교과서 전체 개념 관계망 ‘몸’ 개념 중심의 주요 관계	86
<표 IV-12> 교과서 전체 개념 관계망 ‘자극’ 개념 중심의 주요 관계 ..	87
<표 IV-13> 교과서 전체 개념 관계망 ‘호르몬’ 개념 중심의 주요 관계	87
<표 IV-14> 전체 주요 개념 관계망 ‘연속성’ 개념군의 주요 개념	89
<표 IV-15> 교과서 전체 개념 관계망 ‘유전자’ 개념 중심의 주요 관계	90
<표 IV-16> 교과서 전체 개념 관계망 ‘염색체’ 개념 중심의 주요 관계	90
<표 IV-17> 교과서 전체 개념 관계망 ‘단백질’ 개념 중심의 주요 관계	91
<표 IV-18> 교과서 전체 개념 관계망 ‘DNA’ 개념 중심의 주요 관계	91
<표 IV-19> 전체 주요 개념 관계망 ‘생물의 다양성과 상호 작용’ 개념군의 주요 개념	93
<표 IV-20> 교과서 전체 개념 관계망 ‘생물’ 개념 중심의 주요 관계 ..	93
<표 IV-21> 교과서 전체 개념 관계망 ‘진화’ 개념 중심의 주요 관계 ..	94
<표 IV-22> 교과서 전체 개념 관계망 ‘분류’ 개념 중심의 주요 관계 ..	94
<표 IV-23> 교과서 전체 개념 관계망 ‘환경’ 개념 중심의 주요 관계 ..	95
<표 IV-24> 교과서 전체 개념 관계망 ‘생태계’ 개념 중심의 주요 관계	95
<표 IV-25> 전체 주요 개념 관계망 ‘식물의 구조, 동물의 한살이’ 개념군의 주요 개념	97
<표 IV-26> 교과서 전체 개념 관계망 ‘식물’ 개념 중심의 주요 관계 ..	97
<표 IV-27> 교과서 전체 개념 관계망 ‘동물’ 개념 중심의 주요 관계 ..	98
<표 IV-28> 전체 주요 개념 관계망 ‘생명 공학과 건강’ 개념군의 주요 개념	99
<표 IV-29> 교과서 전체 개념 관계망 ‘사람’ 개념 중심의 주요 관계	100
<표 IV-30> 교과서 전체 개념 관계망 ‘생명 공학’ 개념 중심의 주요 관계	100

<표 IV-31> 학교급별 주요 개념 관계망의 구조적 특성	105
<표 IV-32> 초등학교 교과서 개념 관계망의 주요 개념	108
<표 IV-33> 초등학교 과학 교과서의 ‘식물’ 개념 중심의 주요 관계 ..	109
<표 IV-34> 초등학교 과학 교과서의 ‘동물’ 개념 중심의 주요 관계 ..	110
<표 IV-35> 초등학교 과학 교과서의 ‘생물’ 개념 중심의 주요 관계 ..	111
<표 IV-36> 초등학교 과학 교과서의 ‘환경’ 개념 중심의 주요 관계 ..	112
<표 IV-37> 초등학교 과학 교과서의 ‘몸’ 개념 중심의 주요 관계	113
<표 IV-38> 중학교 교과서 개념 관계망의 주요 개념	118
<표 IV-39> 중학교 과학 교과서의 ‘세포’ 개념 중심의 주요 관계	119
<표 IV-40> 중학교 과학 교과서의 ‘식물’ 개념 중심의 주요 관계	120
<표 IV-41> 중학교 과학 교과서의 ‘광합성’ 개념 중심의 주요 관계 ..	120
<표 IV-42> 중학교 과학 교과서의 ‘몸’ 개념 중심의 주요 관계	122
<표 IV-43> 중학교 과학 교과서의 ‘영양소’ 개념 중심의 주요 관계 ..	122
<표 IV-44> 중학교 과학 교과서의 ‘자극’ 개념 중심의 주요 관계	123
<표 IV-45> 중학교 과학 교과서의 ‘호르몬’ 개념 중심의 주요 관계 ..	123
<표 IV-46> 중학교 과학 교과서의 ‘사람’ 개념 중심의 주요 관계	124
<표 IV-47> 중학교 과학 교과서의 ‘염색체’ 개념 중심의 주요 관계 ..	125
<표 IV-48> 중학교 과학 교과서의 ‘유전자’ 개념 중심의 주요 관계 ..	125
<표 IV-49> 중학교 과학 교과서의 ‘생물’ 개념 중심의 주요 관계	126
<표 IV-50> 중학교 과학 교과서의 ‘진화’ 개념 중심의 주요 관계	126
<표 IV-51> 중학교 과학 교과서의 ‘분류’ 개념 중심의 주요 관계	127
<표 IV-52> 고등학교 과학 교과서의 주요 개념	131
<표 IV-53> 고등학교 과학 교과서의 ‘세포’ 개념 중심의 주요 관계 ..	132
<표 IV-54> 고등학교 과학 교과서의 ‘단백질’ 개념 중심의 주요 관계 ..	133
<표 IV-55> 고등학교 과학 교과서의 ‘DNA’ 개념 중심의 주요 관계 ..	133
<표 IV-56> 고등학교 과학 교과서의 ‘생물’ 개념 중심의 주요 관계 ..	134
<표 IV-57> 고등학교 과학 교과서의 ‘진화’ 개념 중심의 주요 관계 ..	135
<표 IV-58> 고등학교 과학 교과서의 ‘염색체’ 개념 중심의 주요 관계 ..	136
<표 IV-59> 고등학교 과학 교과서의 ‘유전자’ 개념 중심의 주요 관계 ..	136
<표 IV-60> 고등학교 과학 교과서의 ‘질병’ 개념 중심의 주요 관계 ..	137
<표 IV-61> 고등학교 과학 교과서의 ‘식물’ 개념 중심의 주요 관계 ..	138

<표 IV-62> 고등학교 생명과학 I 교과서의 주요 개념	142
<표 IV-63> 고등학교 생명과학 I 교과서의 ‘세포’ 개념 중심의 주요 관계	143
<표 IV-64> 고등학교 생명과학 I 교과서의 ‘에너지’ 개념 중심의 주요 관계	144
<표 IV-65> 고등학교 생명과학 I 교과서의 ‘사람’ 개념 중심의 주요 관계	145
<표 IV-66> 고등학교 생명과학 I 교과서의 ‘염색체’ 개념 중심의 주요 관계	145
<표 IV-67> 고등학교 생명과학 I 교과서의 ‘유전자’ 개념 중심의 주요 관계	146
<표 IV-68> 고등학교 생명과학 I 교과서의 ‘몸’ 개념 중심의 주요 관계	147
<표 IV-69> 고등학교 생명과학 I 교과서의 ‘자극’ 개념 중심의 주요 관계	147
<표 IV-70> 고등학교 생명과학 I 교과서의 ‘호르몬’ 개념 중심의 주요 관계	148
<표 IV-71> 고등학교 생명과학 I 교과서의 ‘병원체’ 개념 중심의 주요 관계	149
<표 IV-72> 고등학교 생명과학 I 교과서의 ‘질병’ 개념 중심의 주요 관계	149
<표 IV-73> 고등학교 생명과학 I 교과서의 ‘생물’ 개념 중심의 주요 관계	150
<표 IV-74> 고등학교 생명과학 I 교과서의 ‘개체군’ 개념 중심의 주요 관계	151
<표 IV-75> 고등학교 생명과학 I 교과서의 ‘생태계’ 개념 중심의 주요 관계	151
<표 IV-76> 고등학교 생명과학 II 교과서의 주요 개념	156
<표 IV-77> 고등학교 생명과학 II 교과서의 ‘세포’ 개념 중심의 주요 관계	157
<표 IV-78> 고등학교 생명과학 II 교과서의 ‘에너지’ 개념 중심의 주요 관계	159
<표 IV-79> 고등학교 생명과학 II 교과서의 ‘ATP’ 개념 중심의 주요 관계	159

<표 IV-80> 고등학교 생명과학Ⅱ 교과서의 ‘광합성’ 개념 중심의 주요 관계	160
<표 IV-81> 고등학교 생명과학Ⅱ 교과서의 ‘효소’ 개념 중심의 주요 관계	160
<표 IV-82> 고등학교 생명과학Ⅱ 교과서의 ‘DNA’ 개념 중심의 주요 관계	161
<표 IV-83> 고등학교 생명과학Ⅱ 교과서의 ‘단백질’ 개념 중심의 주요 관계	162
<표 IV-84> 고등학교 생명과학Ⅱ 교과서의 ‘유전자’ 개념 중심의 주요 관계	162
<표 IV-85> 고등학교 생명과학Ⅱ 교과서의 ‘생물’ 개념 중심의 주요 관계	164
<표 IV-86> 고등학교 생명과학Ⅱ 교과서의 ‘진화’ 개념 중심의 주요 관계	164
<표 IV-87> 고등학교 생명과학Ⅱ 교과서의 ‘분류’ 개념 중심의 주요 관계	165
<표 IV-88> 학교급 전체에 대한 핵심 주제별 개념 관계망의 구조적 특성	167
<표 IV-89> ‘유기적 구성’ 핵심 주제에 대한 학교급별 개념 관계망의 구조적 특성	168
<표 IV-90> ‘유기적 구성’에 대한 초등학교 교과서 개념 관계망의 주요 관계	173
<표 IV-91> ‘유기적 구성’에 대한 중학교 과학 교과서 개념 관계망의 주요 관계	175
<표 IV-92> ‘유기적 구성’에 대한 고등학교 과학 교과서 개념 관계망의 주요 관계	177
<표 IV-93> ‘유기적 구성’에 대한 고등학교 생명과학Ⅰ 교과서 개념 관계망의 주요 관계	179
<표 IV-94> ‘유기적 구성’에 대한 고등학교 생명과학Ⅱ 교과서 개념 관계망의 주요 관계	181
<표 IV-95> ‘유기적 구성’에 대한 학교급 교과서별 수직적 연계성	182
<표 IV-96> ‘물질대사’ 핵심 주제에 대한 학교급별 개념 관계망의 구조적 특성	183

<표 IV-97> ‘물질대사’에 대한 초등학교 과학 교과서 개념 관계망의 주요 관계	190
<표 IV-98> ‘물질대사’에 대한 중학교 과학 교과서 개념 관계망의 주요 관계	192
<표 IV-99> ‘물질대사’에 대한 고등학교 과학 교과서 개념 관계망의 주요 관계	194
<표 IV-100> ‘물질대사’에 대한 고등학교 생명과학 I 교과서 개념 관계망의 주요 관계	196
<표 IV-101> ‘물질대사’에 대한 고등학교 생명과학 II 교과서 개념 관계망의 주요 관계	198
<표 IV-102> ‘물질대사’에 대한 학교급 교과서별 수직적 연계성	199
<표 IV-103> ‘항상성’ 핵심 주제에 대한 학교급별 개념 관계망의 구조적 특성	200
<표 IV-104> ‘항상성’에 대한 초등학교 과학 교과서 개념 관계망의 주요 관계	206
<표 IV-105> ‘항상성’에 대한 중학교 과학 교과서 개념 관계망의 주요 관계	208
<표 IV-106> ‘항상성’에 대한 고등학교 과학 교과서 개념 관계망의 주요 관계	210
<표 IV-107> ‘항상성’에 대한 고등학교 생명과학 I 교과서 개념 관계망의 주요 관계	212
<표 IV-108> ‘항상성’에 대한 학교급 교과서별 수직적 연계성	213
<표 IV-109> ‘연속성’ 핵심 주제에 대한 학교급별 개념 관계망의 구조적 특성	214
<표 IV-110> ‘연속성’에 대한 초등학교 과학 교과서 개념 관계망의 주요 관계	222
<표 IV-111> ‘연속성’에 대한 중학교 과학 교과서 개념 관계망의 주요 관계	224
<표 IV-112> ‘연속성’에 대한 고등학교 과학 교과서 개념 관계망의 주요 관계	226
<표 IV-113> ‘연속성’에 대한 고등학교 생명과학 I 교과서 개념 관계망의 주요 관계	228

<표 IV-114> ‘연속성’에 대한 고등학교 생명과학Ⅱ 교과서 개념 관계망의 주요 관계	230
<표 IV-115> ‘연속성’에 대한 학교급 교과서별 수직적 연계성	232
<표 IV-116> ‘다양성’ 핵심 주제에 대한 학교급별 개념 관계망의 구조적 특성	233
<표 IV-117> ‘다양성’에 대한 초등학교 과학 교과서 개념 관계망의 주요 관계	240
<표 IV-118> ‘다양성’에 대한 중학교 과학 교과서 개념 관계망의 주요 관계	242
<표 IV-119> ‘다양성’에 대한 고등학교 과학 교과서 개념 관계망의 주요 관계	244
<표 IV-120> ‘다양성’에 대한 고등학교 생명과학Ⅱ 교과서 개념 관계망의 주요 관계	246
<표 IV-121> ‘다양성’에 대한 학교급 교과서별 수직적 연계성	248
<표 IV-122> ‘상호작용’ 핵심 주제에 대한 학교급별 개념 관계망의 구조적 특성	249
<표 IV-123> ‘상호작용’에 대한 초등학교 과학 교과서 개념 관계망의 주요 관계	254
<표 IV-124> ‘상호작용’에 대한 고등학교 과학 교과서 개념 관계망의 주요 관계	256
<표 IV-125> ‘상호작용’에 대한 고등학교 생명과학Ⅰ 교과서 개념 관계망의 주요 관계	258
<표 IV-126> ‘상호작용’에 대한 학교급 교과서별 연계성	259
<표 IV-127> ‘생명공학’ 핵심 주제에 대한 학교급별 개념 관계망의 구조적 특성	260
<표 IV-128> ‘생명 공학’에 대한 초등학교 과학 교과서 개념 관계망의 주요 관계	264
<표 IV-129> ‘생명 공학’에 대한 중학교 과학 교과서 개념 관계망의 주요 관계	266
<표 IV-130> ‘생명 공학’에 대한 고등학교 과학 교과서 개념 관계망의 주요 관계	268

<표 IV-131> ‘생명 공학’에 대한 고등학교 생명과학Ⅱ 교과서 개념 관계망의 주요 관계	270
<표 IV-132> ‘생명 공학’에 대한 학교급 교과서별 수직적 연계성	271
<표 IV-133> ‘과학 탐구과정’ 핵심 주제에 대한 학교급별 개념 관계망의 구조적 특성	273
<표 IV-134> ‘과학 탐구과정’에 대한 초등학교 과학 교과서 개념 관계망의 주요 관계	276
<표 IV-135> ‘과학 탐구과정’에 대한 중학교 과학 교과서 개념 관계망의 주요 관계	278
<표 IV-136> ‘과학 탐구과정’에 대한 고등학교 생명과학Ⅰ 교과서 개념 관계망의 주요 관계	280
<표 IV-137> ‘과학 탐구과정’에 대한 학교급 교과서별 수직적 연계성	281

그림 목차

<그림 II-1> 네트워크에서 나타나는 군집	29
<그림 III-1> 연구의 절차	49
<그림 III-2> 개념관계분석 S/W Concept Relation Analyzer (CRA) ...	54
<그림 III-3> 생물 개념 관계망 데이터베이스의 ERD	55
<그림 III-4> CRA를 통해 생성된 GEXF 그래프 데이터	58
<그림 III-5> CRA와 Gephi를 이용한 개념 관계망의 시각화	59
<그림 IV-1> 교과서 전체 네트워크의 연결정도 분포	74
<그림 IV-2> 교과서 전체에 대한 주요 개념 관계망	77
<그림 IV-3> 교과서 전체에 대한 주요 개념 관계망의 주요 관계	78
<그림 IV-4> 교과서 생명 영역의 핵심 주제와 개념 체계	103
<그림 IV-5> 초등학교 교과서의 주요 개념 관계망	107
<그림 IV-6> 초등학교 과학 생물 내용의 개념 체계와 수평적 연계성	115
<그림 IV-7> 중학교 교과서의 주요 개념 관계망	117
<그림 IV-8> 중학교 과학 생물 내용의 개념 체계와 수평적 연계성	128
<그림 IV-9> 고등학교 과학 교과서의 주요 개념 관계망	130
<그림 IV-10> 고등학교 과학 생물 내용의 개념 체계와 수평적 연계성	139
<그림 IV-11> 고등학교 생명과학 I 교과서의 주요 개념 관계망	141
<그림 IV-12> 고등학교 생명과학 I 내용의 개념 체계와 수평적 연계성	153
<그림 IV-13> 고등학교 생명과학 II 교과서의 주요 개념 관계망	155
<그림 IV-14> 고등학교 생명과학 II 내용의 개념 체계와 수평적 연계성	166

<그림 IV-15> ‘유기적 구성’에 대한 초등학교 과학 교과서의 개념 관계망	172
<그림 IV-16> ‘유기적 구성’에 대한 중학교 과학 교과서의 개념 관계망	174
<그림 IV-17> ‘유기적 구성’에 대한 고등학교 과학 교과서의 개념 관계망	176
<그림 IV-18> ‘유기적 구성’에 대한 고등학교 생명과학 I 교과서의 개념 관계망	178
<그림 IV-19> ‘유기적 구성’에 대한 고등학교 생명과학 II 교과서의 개념 관계망	180
<그림 IV-20> ‘물질대사’에 대한 초등학교 교과서의 개념 관계망	189
<그림 IV-21> ‘물질대사’에 대한 중학교 교과서의 개념 관계망	191
<그림 IV-22> ‘물질대사’에 대한 고등학교 과학 교과서의 개념 관계망	193
<그림 IV-23> ‘물질대사’에 대한 고등학교 생명과학 I 교과서의 개념 관계망	195
<그림 IV-24> ‘물질대사’에 대한 고등학교 생명과학 II 교과서의 개념 관계망	197
<그림 IV-25> ‘항상성’에 대한 초등학교 과학 교과서의 개념 관계망	205
<그림 IV-26> ‘항상성’에 대한 중학교 과학 교과서의 개념 관계망	207
<그림 IV-27> ‘항상성’에 대한 고등학교 과학 교과서의 개념 관계망	209
<그림 IV-28> ‘항상성’에 대한 고등학교 생명과학 I 교과서의 개념 관계망	211
<그림 IV-29> ‘연속성’에 대한 초등학교 교과서의 개념 관계망	221
<그림 IV-30> ‘연속성’에 대한 중학교 교과서의 개념 관계망	223
<그림 IV-31> ‘연속성’에 대한 고등학교 과학 교과서의 개념 관계망	225

<그림 IV-32> ‘연속성’에 대한 고등학교 생명과학 I 교과서의 개념 관계망	227
<그림 IV-33> ‘연속성’에 대한 고등학교 생명과학 II 교과서의 개념 관계망	229
<그림 IV-34> ‘다양성’에 대한 초등학교 교과서의 개념 관계망	239
<그림 IV-35> ‘다양성’에 대한 중학교 교과서의 개념 관계망	241
<그림 IV-36> ‘다양성’에 대한 고등학교 과학 교과서의 개념 관계망	243
<그림 IV-37> ‘다양성’에 대한 고등학교 생명과학 II 교과서의 개념 관계망	245
<그림 IV-38> ‘상호작용’에 대한 초등학교 교과서의 개념 관계망	253
<그림 IV-39> ‘상호작용’에 대한 고등학교 과학 교과서의 개념 관계망	255
<그림 IV-40> ‘상호작용’에 대한 고등학교 생명과학 I 교과서의 개념 관계망	257
<그림 IV-41> ‘생명공학’에 대한 초등학교 교과서의 개념 관계망	263
<그림 IV-42> ‘생명공학’에 대한 중학교 교과서의 개념 관계망	265
<그림 IV-43> ‘생명공학’에 대한 고등학교 과학 교과서의 개념 관계망	267
<그림 IV-44> ‘생명공학’에 대한 고등학교 생명과학 II 교과서의 개념 관계망	269
<그림 IV-45> ‘탐구 과정’에 대한 초등학교 교과서의 개념 관계망	275
<그림 IV-46> ‘과학 탐구과정’에 대한 중학교 교과서의 개념 관계망	277
<그림 IV-47> ‘과학 탐구과정’에 대한 고등학교 생명과학 I 교과서의 개념 관계망	279
<그림 V-1> 교과서 전체 및 교육과정 성취기준의 주요 개념 관계망	303

I . 서론

1. 연구의 필요성 및 목적

학생들에게 무엇을 가르칠 것인가? 즉 교과별 교육의 내용이 어떻게 구성되어야 하는가는 교육에 있어 가장 중요한 물음 중 하나이다. 과학교육에서는 이 물음에 대하여 일찍이 Bruner(1977)와 Schwab(1962)이 과학 지식의 구조와 과학적 탐구를 강조한 바 있다. 우리나라 교육과정에서도 과학의 기본 개념과 원리에 대한 체계적 이해는 학문중심교육사조의 영향을 받은 3차 교육과정부터 현 교육과정에 이르기까지 과학교육의 중요한 목표로 설정되어 왔다. 또 이러한 목표의 성취를 위하여 학생들에게 언제 어떤 내용을 가르쳐야하는지에 대한 내용의 체계가 교육과정에서 함께 제시되어 왔고, 이 내용의 체계는 시대와 사회의 요구에 따라 교육과정이 개정될 때마다 변화를 거듭해왔다(김헌수, 2012).

그런데 지금까지 우리나라의 과학과 교육과정은 그 개발 과정에서 개발 참여자의 경험과 직관에 의해 내용이 설정되어 왔다는 문제제기가 있어왔다(임성민, 차정호, 2005; 신이섭, 2011). 또 내용의 선정 기준을 위한 체계적 연구가 부족하여 내용 선정의 기준이 불분명하고, 합리적인 근거 없이 내용이 삭제되거나 이동되기도 하였다(이재봉, 김용진, 백성혜, 이기영, 2010). 이는 최근의 교육과정 개정 논의에서 빠지지 않고 등장한 ‘교육 내용의 적정화’ 담론(구원회, 2013; 김재춘, 2003; 이양락 등, 2005)의 영향이 크다 할 것이다. 교과별로 학생들의 학습 부담을 줄인다는 명목 하에 내용의 감축과 난이도 조정이 계속되어 왔기 때문이다. 이 과정에서 개념의 계열성과 위계를 고려하지 않고 임의대로 내용이 배열되거나 명확한 근거 없이 학년 간 이동 및 통합이 이루어져왔다(이재봉 등, 2010). 또, 이러한 내용 변화에 대하여 교육과정에서 학교급별 계열성을 체계적으로 설명하고 있지 않기 때문에 교사들은 이에 대한 이해 부족으로 수업에 어려움을 겪고 있다(남수경, 이근호, 송경오, 2010).

교육과정 개정 과정에서 나타나고 있는 이러한 문제로 인해 과학교육의 각 영역에서 꼭 가르쳐야 하는 핵심 내용을 선정하고 그 내용들이 어떻게 연계되어야 하는지에 대한 연구의 필요성이 제기되고 있다(이재봉 등, 2010). 특히 오늘날에는 정보 혁명과 생명과학의 발달로 인해 생물학 지식의 급속적인 팽창이 이루어지고 있다. 따라서 폭발적으로 증가하고 있는 생물학 지식 중에서 교육과정을 통해 꼭 가르쳐야 할 핵심 내용과 체계를 분명히 하고, 교육 당사자들이 이를 공유할 수 있도록 하는 일의 중요성은 더욱 커지고 있다.

교과에서 가르칠 핵심적이고 중요한 개념을 선정하여 교과 지식의 구조를 밝히기 위해서는 먼저 교육과정의 변화 과정에서 유지되고 있는 내용들이 무엇인지 분석하고, 과학의 각 영역별로 핵심 내용을 선정하여 제시하는 연구부터 이루어져야 할 것이다(윤현진 등, 2009). 또 이는 개괄적인 내용만 대강화(허경철, 2005)하여 제시하고 있는 교육과정만을 분석하여서는 해결하기 어려운 문제이다(임수민, 김영신, 2015).

우리나라에서는 국가교육과정에 따라 교과서가 구성되고 있고, 실제 과학 수업에서 교과서를 주교재로 사용하는 비율이 매우 높다. 따라서 교육과정에서 설정한 내용은 학교 현장에서 사용되는 가장 중요한 교수·학습 자료인 교과서를 통해 구체화되고 있다(김헌수, 2006). 교과서는 교육과정의 내용 체계에 따라 교육 목표의 달성을 위해 필요한 내용을 선정하고 구체화하여 조직한 교재이기 때문에 교사들의 개념 구조에 가장 큰 영향을 주는 요인으로 교사들의 수업 방법이나 수업 내용에 큰 영향을 미치는 매체이기도 하다(DeLeuil, 1998; Wellington & Osborne, 2001; Yager, 1983). 따라서 교육과정의 실제적 구현물이라 할 수 있는 교과서를 분석한다면 교육과정에 포함된 내용이 나타내는 지식의 체계에 대한 실증적인 탐색이 가능할 것이다.

교과서에 포함된 지식에 대한 실증적 분석을 위해서는 교과서의 내용을 객관적이고 타당한 방법에 따라 측정하고 분석해야 한다. 이를 위해서는 분석 대상에 대한 체계적이고 객관적인 양적 분석을 바탕으로 텍스트의 핵심

내용을 조사하고, 그 결과로 부터 구체적인 추론을 이끌어내는 재현 가능하고 타당한 방법인 내용 분석 연구가 이루어질 필요가 있다(Berelson, 1952; Krippendorff, 1980).

최근 내용분석 방법의 새로운 유형으로서 개념 관계망 분석에 대한 연구들이 이루어지고 있다. 이는 텍스트에 포함된 개념과 개념 간의 관계를 분석하고 이를 연결선으로 표시함으로써 구축되는 관계망을 통해 텍스트가 내포하고 있는 의미를 해석하는 분석 기법이다(Drieger, 2013; Hunter, 2014; Leydesdorff & Welbers, 2011; Popping, 2000). 개념 관계망 분석 방법은 전통적인 내용분석에서 사용하는 범주별 개념의 빈도를 분석하는 데 그치지 않고, 이를 시각화하여 개념간의 관계성을 양적, 질적으로 분석함으로써 내용에 대한 이해를 높여 준다. 이러한 개념 관계망 분석의 방법을 통해서 교과서에서 제시되고 있는 지식의 체계를 시각화하고, 이를 직관적으로 탐색할 수 있게 된다면 교과서의 내용을 가르쳐야 하는 교사와 그것을 학습해야 하는 학생 모두에게 생물학 지식에 대한 전체적인 개관(overview)을 제공하게 될 것이다. 또 개념들의 시각화된 결과를 현장의 수업에 활용한다면 학생들이 생물학 지식을 체계적으로 이해할 수 있게 하여, 유의미한 학습을 도울 수 있을 것이다(Kinchin, 2011; Soyibo, 1995).

따라서 이와 같은 연구의 배경과 필요성에 따라 본 연구에서는 먼저 현행 2009 개정 과학과 교육과정의 교과서에 포함되고 있는 생물학 지식의 핵심 주제와 개념의 체계를 분석하였다. 이를 위하여 교과서 내용에 대한 개념 관계망 분석에 필요한 개념관계분석 프로그램을 개발하였고, 개발된 도구를 활용하여 교과서에 나타난 생물학 지식의 핵심 주제와 개념의 체계를 개념 관계망으로 시각화하여 보임으로써 교과서의 내용을 가르치고 학습해야 하는 교사와 학생들에게 생물학 지식의 체계에 대한 통찰을 제공하고자 하였다. 또 학교급별 교과서에 포함되고 있는 생물학 내용의 연계성을 분석하여 현 교육과정의 내용 체계에서 나타나는 문제점을 조사하고, 이로부터 생물 교육의 개선을 위한 시사점을 얻고자 하였다.

2. 연구 내용

본 연구는 2009 개정 교육과정에 따라 편찬된 과학 교과서의 생명 영역에서 학습 내용으로 제시되고 있는 생물학 지식의 체계를 분석한 연구이다. 이를 위하여 본 연구에서는 교과서에서 생물학 지식을 구성하고 있는 개념들을 추출한 다음 그 개념들이 형성하는 관계를 관계망으로 시각화하고 분석함으로써 생물 지식의 개념 체계를 조사하였다.

이를 통해 우리 교육과정의 생물 교과가 어떠한 생물학 핵심 주제를 중심으로 구성되어 있는지 밝히고, 각 핵심 주제가 초·중·고 학교급에서는 어떻게 다루어지고 있는지, 또 핵심 주제별로 생물 내용이 학교급에 따라 어떻게 연계되고 있는지 알아보고자 하였다.

본 연구의 목적에 따라 설정한 구체적인 연구의 내용은 다음과 같다.

- 1) 과학 교과서 생명 영역 및 생명과학 교과서 내용의 주요 개념과
핵심 주제 분석
- 2) 학교급별 과학/생명과학 교과서에 나타난 생물학 내용의 주요개념
및 핵심 주제의 수평적 연계성 분석
- 3) 과학/생명과학 교과서 생물학 내용의 핵심 주제의 학교급별 수직적
연계성 분석

3. 연구의 제한점

본 연구는 그 목적이 교과서별로 나타나고 있는 개념의 체계를 비교하여 그 차이를 알아보는 데 있기 보다는 현행 교육과정의 교과서에 따라 학습하게 될 경우 학생들이 학교급에 따라 접하게 되는 생물학 개념 체계를 조사하고 분석하는 데 있었다. 따라서 각 학교급별로 해당 학교급을 대표할 교과서를 채택률이 높다고 알려진 교과서 1종씩만을 선정하여 분석의 대상으로 삼았다. 때문에 연구 결과가 2009 개정 과학과 교육과정에 따라 발행된 모든 교과서의 내용을 반영한다고 볼 수는 없다.

또 본 연구에서는 교과서의 내용 분석과 개념 관계망 분석에 있어서 교과서에서 제시되고 있는 생물학 개념의 추출 및 선정, 그리고 개념 관계망의 시각화 과정에서 가능한 연구자의 주관에 배제하고 일관된 규칙을 적용하고자 하였다. 그럼에도 불구하고 유의미하고 분명한 의미를 나타내는 개념 관계망의 도출을 위해서는 관계망의 모호성을 가중시키는 일부 개념을 배제하거나 개념 관계망의 시각화 규칙을 유연하게 적용하는 것이 불가피하였다. 따라서 본 연구의 결과는 연구자의 주관에 완전히 배제된 것은 아니라는 한계점을 지닌다.

4. 용어의 정의

▪ 개념 관계망

분석 대상의 내용을 구성하는 개념들을 추출하여 의미적으로 관계가 있는 개념을 네트워크 형태의 그래프로 생성한 것을 의미한다. 개념 관계망은 분석 단위에 포함된 개념을 점(node)으로 표시하고 관계가 있는 노드끼리는 연결선(edge)으로 연결함으로써 생성된다. 이렇게 생성된 관계망에 대하여 학자마다 단어 네트워크(network of word), 개념 네트워크(concept network), 텍스트 네트워크(text network), 의미망(semantic map), 언어 네트워크 등 다양한 용어를 혼용하여 사용하고 있으나 본 연구에서는 과학 지식을 구성하는 것은 용어나 단어의 기호(symbol) 자체가 아닌 개념이라고 보고 교과서의 포함된 개념들 사이의 관계를 네트워크화한 관계망을 개념 관계망으로 정의하였다.

▪ 관계

개념 관계망에서 두 개념(node)을 연결하는 연결선(edge)이 있는 경우는 두 개념이 의미적으로 관계를 형성하고 있음을 의미한다. 본 연구에서는 교과서에 포함된 생물학 지식을 나타내는 명제(문장)에 함께 쓰인 개념들은 서로 관계가 있는 개념으로 보았다.

▪ 연결 가중치(weight, 연결의 강도)

연결의 강도는 분석 대상에서 연결된 두 개념 A, B를 포함하는 명제가 나타나는 빈도($F(AB)$)를 의미한다. 연결 가중치가 높은 관계일수록 관계를 형성하는 두 개념이 함께 쓰이는 횟수가 많고 따라서 두 개념 사이의 관계가 중요하고 강조되는 관계로 볼 수 있다. 연결에 대한 가중치를 포함하는 개념 관계망은 각 관계를 나타내는 연결선의 두께를 연결 가중치에 비례하여 표시함으로써 주요 관계를 강조하여 시각화 할 수 있다. 연결 가중치의 평균은 개념 관계망을 이루고 있는 모든 연결의 연결 가중치에 대한 평균이다.

▪ 연결정도(degree)

연결정도(degree)란 관계망에서 한 점(node, 개념)에 연결된 연결선의 수, 다시 말해 한 개념과 연결된 다른 개념의 수를 나타낸다. 연결정도가 높게 나타나는 개념은 많은 다른 개념들과 관계를 형성한다는 것이고, 따라서 해당 개념이 개념 관계망의 여러 관계를 통해 형성하는 의미의 중심에 있음을 의미한다.

▪ 중심성(centrality)

중심성(centrality)은 한 노드(개념)가 전체 관계망에서 중심에 위치하는 정도를 표현하는 지표다. 관계망에서 각 노드가 가지는 중심성을 측정하는 다양한 지수가 개발되어 있는데 본 연구에서는 한 개념이 관계망에 포함된 특정 주제를 대표하는 정도, 즉 지역적 중심성을 나타내는 연결정도 중심성(degree centrality)과 한 개념이 전체 관계망의 주제와 의미를 중개하여 통합하는 정도, 즉 전역적 중심성을 나타내는 사이중심성(betweenness centrality)을 개념의 중심성 분석 지표로 사용하였다.

▪ 근접도(proximity)

연결 가중치와 함께 개념 관계망에서 연결을 이루는 두 개념 사이의 의미 거리(semantic distance)가 가까운 정도를 나타내는 지표이다. 연결 가중치는 두 개념이 함께 쓰이는 빈도($F(\overline{AB})$)만을 고려하였다. 이와는 달리 근접도는 두 개념 A와 B가 이루는 관계(\overline{AB})에서 각각의 개념을 중심으로 한 상대적인 의미의 거리, 즉 A개념을 중심으로 한 근접도($P(\overline{AB}) = F(\overline{AB})/F(A)$)와 B개념을 중심으로 한 근접도($P(\overline{BA}) = F(\overline{AB})/F(B)$)로 구분함으로써, 두 개념 사이의 관계에 대한 좀 더 상세한 정보를 제공한다. 근접도는 0부터 1사이의 값을 가지게 되는데, $P(\overline{AB})$ 가 1에 가까울수록 개념 A가 상대 개념 B와 함께 쓰이는 정도가 높다는 것을 의미한다. 근접도는 연결 가중치와 함께 인지구조 내에서 한 개념 A가 다른 개념 B에 대한 연상을 촉발하게 될 확률을 나타낸다.

▪ 고유도

개념의 고유도는 한 개념이 분석 대상 전체에서 특정 범위에서만 사용된 정도를 나타내는 지수이다. 예를 들어 초등학교 개념 관계망에서 개념 A가 가지는 고유도($s(A)$)는 개념 A가 초등학교 교과서에서 출현한 빈도를 교육과정 전체에서 출현한 빈도로 나누어 계산된다. 따라서 개념의 고유도는 0부터 1사이의 값을 가지게 되고, 특정 학교급의 교과서에서 고유도가 1에 가깝게 높게 나타난 개념은 전체 교육과정 중 해당 학교급에서만 다루어지는 정도가 높음을 의미한다. 또, 두 개념 A와 B가 형성하는 개념 간 연결의 고유도($s(\overline{AB})$) 역시 같은 방법으로 계산되는데, 관계를 구성하는 개별 개념의 고유도는 낮더라도 관계의 고유도가 높은 경우가 있을 수 있으며 이러한 관계는 해당 교과서에서 고유하게 다루어지는 내용을 잘 나타내주는 관계로 볼 수 있다.

▪ 개념군

개념 관계망에서 개념들 간의 관계가 부분적으로 밀집되어 상대적으로 연결이 많지 않은 개념들과는 지역적으로 구분되는 개념의 집단을 개념군으로 볼 수 있고, 이 개념군이 특정한 맥락적 의미를 형성하게 된다. 이 개념군은 네트워크 분석을 통해 개념 간의 관계에 기초하여 통계적으로 구분될 수 있다. 본 연구에서는 개념 관계망에서 나타나고 있는 개념군이 분석 대상에 포함된 생물학 주제에 따라 묶여질 것으로 보았다.

II. 이론적 배경

1. 지식의 구조와 생물학의 핵심 주제

1) 브루너(Bruner)의 지식의 구조 이론

Bruner(1977)가 「교육의 과정」(The Process of Education)에서 제시한 '지식의 구조' 개념은 학문 중심 교육사조의 핵심적인 아이디어로 미국뿐만 아니라 전 세계 초·중등 과학교육에 지대한 영향을 미쳤다. 이 지식의 구조 개념은 우리나라 교육과정에도 학문 중심 교육사조가 도입된 3차 교육과정부터 현행 교육과정에 이르기까지 교육과정 내용 구성의 주요 원리가 되어오고 있다.

Bruner는 학교에서 가르치고 있는 '과학'과 과학자들의 과학 사이에서 발생하고 있는 간극을 과학교육이 최우선 적으로 해결해야 할 문제로 지적하였고, 이 문제를 해소하기 위해서는 '지식의 구조'를 가르쳐야 한다고 하였다. 지식의 구조가 무엇인가에 대해 Bruner가 명시적으로 규정하지는 않았으나 생물학에서의 향성(tropism)이라는 하나의 개념을 통해 자벌레가 위로 올라가려는 경향에서부터, 온도에 따라 메뚜기 떼의 밀도가 조절되는 것, 고도에 따라 여러 생물 종이 분서하는 것 등을 설명할 수 있음을 예로 들어 이러한 개념들이 지식의 구조에 해당한다고 설명하였다. 이러한 설명에 따르면 지식의 구조란 사실이나 현상을 엮어주는 핵심적인 개념과 원리를 의미한다. 다시 말해 각 학문의 뼈대가 될 수 있는 핵심적인 개념과 원리, 즉 개별적인 사실이나 정보를 서로 연계하고, 체계화하는 주요 개념과 원리라고 볼 수 있다.

학생들에게 지식의 구조를 가르쳐야 하는 이유에 대해 Bruner는 다음과 같이 주장하였다. 그는 교과 지식의 이루는 기본 개념들이 서로 관련되고 있는 체계를 이해함으로써 원래 학습한 것과 매우 유사한 과제를 해결하는 데 학습 결과를 응용할 수 있게 되고, 전혀 새로운 상황의 문제에

대해서도 이미 학습한 기본적이고 일반적인 아이디어에 의해서 해결하는 것이 가능하게 된다고 보았다. 또 학생들에게 교과와 모든 지식을 접하게 하는 것은 불가능하고, 따라서 제한된 경험의 기회를 가장 효과적으로 사용하기 위해서는 교과와 기본적인 지식의 구조를 가르쳐야 한다는 것이다.

“학습을 통해 얻어진 지식은 그것들을 서로 연결해줄 구조가 없을 때 쉽게 잊혀 진다. 원리나 개념을 중심으로 특수한 사실을 구조화 시키고, 이들로부터 다시 특수한 사실들을 추리해 내는 것만이 인간 기억의 급속한 소멸을 지연시키는, 현재까지 알려진 유일한 방법이다” (Bruner, 1977, pp31-32).

지식의 구조에 대한 이러한 관점은 과학교육에 있어 큰 의미를 지닌다. 먼저 교육과정에서는 교육 내용을 기본 개념을 중심으로 조직할 수 있게 되고, 이를 통해 학생들은 지식의 전체 구조를 쉽게 통찰하고 해당 교과와 지식을 통합적으로 이해할 수 있게 된다. 또 학습의 양은 줄이되 질은 높임으로써 학생들이 학습에 대한 지속적인 흥미를 유지할 수 있게 된다.

그러므로 이러한 지식의 구조를 학생들에게 가르치기 위해서는 교육과정에서 과학지식의 기본 개념과 원리, 그리고 그 지식의 체계가 제시될 필요가 있음은 이론의 여지가 없다. 하지만 끊임없이 변화하고 폭발적으로 증가하고 있는 과학 지식 중에서 필수적으로 가르쳐야 할 교과 지식의 핵심 개념과 그들 사이의 구조를 밝히는 일은 쉽지 않은 일이다. 본 연구에서는 생물 교육에서 필수적으로 가르쳐야 하는 지식의 구조를 밝히는 과정의 일환으로서 먼저 현행 교육과정에서 실제로 학생들에게 가르쳐지고 있는 생물학 지식의 구조를 이루는 핵심 주제와 핵심 주제를 구성하는 개념의 체계를 알아보려고 하였다.

2) 생물학의 핵심 주제와 생물학 지식의 체계

Bruner가 교과 교육을 통해 지식의 구조를 가르쳐야 함을 역설한 이후, 과학교육의 각 분야에서는 해당 분야의 지식의 구조를 도출하고자 하는 많은 노력들이 있었다. 이와 관련하여 생물 교육 영역에서의 대표적인 성과는 Biological Sciences Curriculum Study(BSCS)의 연구 성과물들이었다. 잘 알려진 BSCS 생물 교과서 3개판(황판, 청판, 및 녹판)의 여러 버전은 3차 교육과정 이후 우리나라 생물 교육의 내용 구성과 교과과정 연구의 주요한 참고 자료로 활용되어왔다(강순자, 김혜수, 1992; 강순자, 허명, 김명선, 1993; 구수정 등, 2000; 김종선, 김규태, 전상학, 2010; 정용재, 노재영, 1977). BSCS는 생명현상의 통합적 이해를 돕기 위한 생물학의 6가지 통합적 원리를 제안하였고(BSCS, 1993), National Science Teachers Association [NSTA](2009)은 각 통합 원리와 관련된 주요 개념에 대하여 <표 II-1>과 같이 제시한 바 있다.

<표 II-1> BSCS와 NSTA에서 제시한 생물학의 통합 원리와 주요 개념

통합 원리	주요 개념
진화	<ul style="list-style-type: none"> • 유전적 다양성과 자연선택을 포함한 진화의 유형과 그 결과 • 멸종(절멸) • 보존생물학(자원의 현명한 소비) • 모든 생물이 공유하는 특징 • 종 분화와 적응, 생물 다양성
상호작용	<ul style="list-style-type: none"> • 환경 요인이 생물에 미치는 영향 • 수용력(carrying capacity)과 제한 요인 • 먹이 그물, 군집(community)구조 • 생물 간의 상호작용 • 생태계, 물질(nutrient)순환, 에너지 흐름 • 생물권(biosphere)과 인간이 그에 미치는 영향
연속성	<ul style="list-style-type: none"> • 유전자와 DNA, 성장(발생) 과정에서 나타나는 유전자와 환경의 상호작용 • 생물의 유전현상 • 유성 생식
구조와 기능	<ul style="list-style-type: none"> • 발생의 유형 • 생물의 구조와 기능
유기적 구성 / 물질대사	<ul style="list-style-type: none"> • 생물의 위계적 (유기적) 구성 • 물질대사 (효소와 에너지 전환)
항상성	<ul style="list-style-type: none"> • 항상성, 피드백 기작의 중요성과 특정 행동 • 인간의 건강과 질병

Note. The Biology Teacher's Handbook, (NSTA, 2009, p. 39)에서 인용

또, 미국의 새 교육과정인 Next Generation Science Standards (NGSS)에서는 생물학에서 가르쳐야할 주요 내용을 <표 II-2>와 같이 4개의 핵심 아이디어로 묶어 제시하였다(National Research Council [NRC], 2012).

<표 II-2> NGSS에 제시된 생물학의 핵심 아이디어(core idea)

핵심 아이디어	주요 내용	
1. 분자에서 개체까지: 구조와 과정	A. 구조와 기능	• 생물의 구조는 어떻게 생명을 가능케 하는가?
	B. 생물의 성장과 발달	• 생물은 어떻게 자라고 발생(발달)하는가?
	C. 생물의 구성 및 물질대사	• 생물은 어떻게 살아가는 데 필요한 물질과 에너지를 얻고 사용하는가?
	D. 정보의 처리 (자극과 반응)	• 생물은 어떻게 환경에 대한 정보를 인지하고 처리하여 사용하는가?
2. 생태계: 상호작용, 에너지, 역동성	A. 생태계의 상호 의존성	• 생물은 물질과 에너지를 얻기 위해 어떻게 생물 / 비생물 환경과 상호작용하는가?
	B. 생태계의 물질순환과 에너지 전달	• 물질과 에너지는 생태계에서 어떻게 이동하는가?
	C. 생태계의 역동성, 기능, 복원	• 환경이 변하면 생태계는 어떻게 되는가?
	D. 사회적 상호작용과 집단행동	• 각자의 이익을 위해 생물은 집단에서(집단끼리) 어떻게 상호작용하는가?
3. 유전: 형질의 유전과 다양성	A. 형질의 유전	• 한 세대의 특성이 어떻게 이전 세대의 특성과 연결(관계)될 수 있는가?
	B. 형질의 다양성	• 왜 같은 종의 개체들은 외형, 기능, 행동에 있어서 다양성을 나타내는가?
4. 생물의 진화: 단일성과 다양성	A. 공동 조상과 다양성의 증거	• 다른 종들이 서로 관련이 있다는 증거는 무엇을 보여주는가?
	B. 자연선택	• 생물(개체)들 사이의 유전적 다양성은 어떻게 생존과 생식에 영향을 미치는가?
	C. 적응	• 환경은 어떻게 여러 세대에 걸쳐 생물의 개체 수에 영향을 미치는가?
	D. 생물 다양성과 인간	<ul style="list-style-type: none"> • 생물 다양성은 무엇인가? • 인간은 생물 다양성에 어떤 영향을 미치는가? • 생물다양성은 인간에게 어떤 영향을 미치는가?

Note. A Framework for K - 12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas (NRC,2012)에서 인용

생물 교과에서 가르쳐야 할 핵심 주제에 대해 국내에서는 강순자와 김영주(1988)가 4차 교육과정에 따른 고등학교 생물 교과서의 단원을 분석하여 7개의 기본 개념을 제시하고(표 II-3), 이를 기초로 4차 교육과정 교과서 생명 영역 내용의 연계성을 분석하였다. 한국과학창의재단에서는 과학교육 각 영역의 전문가들이 세계 각국의 과학 교육과정과 한국의 과학 교육과정을 분석하여 교육과정에서 가르쳐야 할 핵심 내용으로 합의한 내용을 종합한 ‘2011 과학교육 내용표준’을 제시한 바 있다(백윤수 등, 2011). 2011 과학교육 내용표준에서 제시한 생명 과학의 핵심 내용 지식은 <표 II-4>와 같다(박현주 등, 2012).

<표 II-3> 강순자와 김영주(1988)가 제시한 생물 교과서의 기본 개념

기본 개념	주요 내용
생명의 특성	생명의 탐구 방법 / 생명의 특성 / 생명체의 유기적 구성
물질대사	효소와 산화 환원 / 광합성 / 질소동화소화 / 순환 / 호흡 / 배설 / 에너지 전환
조절과 항상성	자극과 감각 / 신경계 / 호르몬 생물의 운동 / 생물의 행동
생식과 발생	세포분열 / 생식 / 발생
유전과 진화	유전 / 형질의 발현과 그 조절 / 집단 유전 생명의 기원 / 생물의 진화
생물의 다양성	분류의 개요 / 분류의 실제
생물과 환경	개체군과 군집 / 생태계 / 환경오염 / 자연보존

<표 II-4> 한국과학창의재단에서 제시한 생명 과학의 핵심 내용 지식

주제	핵심 내용 지식
조직적 구조	개체의 형태, 분류/생태계의 구조 조직과 기관의 구조와 기능, 세포의 구조와 기능
물질대사와 에너지 이용	생태계에서 일어나는 물질의 순환과 에너지의 흐름 조직과 기관 수준에서 일어나는 물질대사와 에너지 이용
환경에 대한 반응과 항상성	개체의 환경에 대한 반응 조직과 기관 수준의 자극에 대한 반응 군집의 환경에 대한 반응
생식과 생장	개체 수준의 생식과 발생 및 생장 조직과 기관 수준의 생식과 발생 및 생장
유전과 진화	개체 수준의 유전과 진화 다양한 생물들의 진화와 진화 메커니즘

Note. 박현주 등(2012)에서 인용

이처럼 생물 교과를 통해 가르칠 생물학의 핵심 주제가 무엇이 되어야 하는가 대해서는 여러 연구자들에 의해 다양한 관점이 제시된 바 있다. 다양한 관점에도 불구하고 생물 교과의 모체가 되는 학문인 생물학이 생명이 무엇인지를 밝히는 학문이기 때문에 생물 교과에서 가르쳐야 할 주요 내용도 생물이 무생물과 구분되는 생명의 특성을 중심으로 그 내용이 구성되어야 함은 대체로 공유되고 있다(강순자, 김영주, 1988; BSCS, 1993). 이와 함께 시대의 변화에 따라 과학 탐구와 과학과 사회의 관계에 대한 내용들이 추가되는 등의 변화가 있어왔다(McInerney, 1987; Schwab, 1963).

본 연구에서는 생물 교과에서 가르쳐야 할 핵심 주제가 무엇이 되어야 하는지를 이론적으로 설정하기 위하여 최근 BSCS, NGSS, 그리고 국내의 선행 연구들에서 제시한 내용들과 BSCS의 초기 버전(강순자, 김영주, 1988; McInerney, 1987) 등 주요 생물학 교재에서 제시하고 있는 생물학의 주요 주제들을 참고하고 종합하였다. 이를 통해 생물에서 나타나는 여섯 가지 생명 현상인 유기적 구성, 물질대사, 항상성, 유전의 연속성, 진화와 다양성, 상호작용에 대한 주제와 최근 우리 교육과정에서 강조되고 있는 생명공학 및 STS와 관련한 주제, 과학 탐구를 포함하는 생물 교과의 8가지 핵심 주제를 이론적으로 설정하였다. 그리고 설정한 핵심 주제가 교과서에서 어떻게 나타나고 있는지를 분석하였다.

2. 교육과정의 적정성과 연계성

1) 적정성

교육내용의 적정화란 수많은 지식 중에서 학생 개인, 사회, 그리고 교과 의 학문적 차원에서 가르칠 가치가 있는 내용을 선정하고(신세호, 광병선, 김재복, 1981), 교수·학습의 가능성을 고려하여 효율성과 효과성 및 교육 적 성과의 극대화를 위해 그 양과 수준을 조정하는 과정이다(김재춘, 2003; 정영근, 박순경, 2006). 이러한 적정화 과정을 거쳐 교육 내용을 적정화 한 후에는 이들 내용을 교과의 특성과 체계에 따라 적절하게 조직 하게 된다. 교과내용의 조직 과정에서는 학습자가 효과적이고 효율적으로 교육내용을 학습·경험할 수 있도록 내용의 계열성과 연계성이 중요하게 고려된다.

정영근과 박순경(2006)은 교육 내용의 적정화 담론에 내재된 적합성과 적정성의 의미를 고찰하고, 교육 내용의 양과 수준의 조정뿐만 아니라 적합성을 고려한 적정화가 이루어져야 함을 제안한 바 있다. 교육내용의 적정성에 대한 평가와 관련하여 과학교육에서는 이양락 등(2005)이 교과에 서 제시하고 있는 내용의 적합성에 의한 적정화, 내용 양의 조정에 의한 적정화, 내용 수준의 조정에 의한 적정화, 내용 조직의 적합성에 의한 적정화(내용의 연계·계열)에 초점을 두어 분석되어야 함을 피력하였다.

2) 연계성

교육과정의 연계성(articulation)에 대해서는 학자마다 다양한 견해가 있어 통일되어 있지는 않으나 대체적으로 공유되고 있는 연계성에 대한 사전적 정의는 다음과 같다.

“학년 사이나 학교 수준 사이의 교육내용이 적절한 관련을 맺고 있다는 말은 교육내용들이 서로 의미 있게 구분된다는 것과 그 사이의 관련이 원활하다는 것을 동시에 나타내는 말이다. 이 점에서 연계성은 학년 사이나 학교 수준 사이의 교육내용이 계속성(continuity)과 계열성(sequence)의 원칙에 맞게 조직된 상태를 가리킨다고 볼 수 있다. 그러나 연계성은 반드시 종적 관련만을 의미하는 것이 아니라 때로는 교과군 사이의 횡적 관련을 나타내는 말로도 쓰인다.” (서울대학교 교육연구소, 1995).

한국교육과정평가원은 학자마다 다른 연계성의 다양한 정의에 대해 기존 문헌 연구와 유·초·중등 교육과정의 전문가들을 대상으로 델파이 조사를 진행하였고, 이를 바탕으로 “교육과정에서 연계성은 학생 수준을 고려하여 횡적으로는 교과 내 또는 교과 간 내용의 적절성을 종적으로는 시간 상 유·초·중등학교에 걸친 학습 내용의 계열성을 말한다.”로 정의하였다(김진숙 등, 2013). 그리고 연계성 기준을 종적 연계성과 횡적 연계성으로 구분하였으며, 종적 연계성에는 계속성과 계열성을 포함하고 횡적 연계성에는 통합성을 포함하여 <표 II-5>로 정리하여 제시하였다. 이는 Tyler(1949)가 교육과정의 기초 원리로서 강조한 계속성·계열성·통합성의 원리에 근거한 연계성의 기준이다.

<표 II-5>에서 볼 수 있듯이 교육과정 내용의 연계성은 수직적 연계성과 수평적 연계성으로 구분될 수 있다. 수평적 연계성은 같은 등급(grade)내의 영역간의 문제이고, 수직적 연계성은 등급 간의 교육 내용의 연계를 의미한다. 일반적으로 교육과정의 연계성은 수직적인 의미의 연계성을 나타내는 의미로 더 자주 쓰인다(송순희, 김윤영, 1998).

〈표 II-5〉 연계성 분석의 기준과 세부 지표

연계성 기준		연계성 세부지표
종적 연계성 (vertical articulation)	계속성 (continuity) + 계열성 (sequence)	<ul style="list-style-type: none"> • 교육과정 종적 연계성 강화를 위한 노력 <ul style="list-style-type: none"> - 학교급별 교육과정 설계 - 학교급 간, 학년(군) 간 연계성 - 교과 전체의 종적 구성에서의 특징
	계속성 (continuity)	<ul style="list-style-type: none"> • 교과의 계속성 <ul style="list-style-type: none"> - 교과의 학교급 간, 학년(군) 간 계속성
	계열성 (sequence)	<ul style="list-style-type: none"> • 교과의 분화 <ul style="list-style-type: none"> - 교과의 학교급 간, 학년(군) 간 계열성 - 교과 계열의 양상
횡적 연계성 (horizontal articulation)	통합성 (integration)	<ul style="list-style-type: none"> • 교육과정 횡적 연계성 강화를 위한 노력 <ul style="list-style-type: none"> - 교과 전체 구성의 통합성 - 학교급 또는 학년을 이루는 교과 조합의 양상
		<ul style="list-style-type: none"> • 교과의 횡적 통합성 <ul style="list-style-type: none"> - 교과 간 연계, 교과 내 영역 간 연계

Note. 이효녕과 여채영(2015)에서 인용 후 수정

송순희 등(1991)은 학교급별 수학 및 과학 교과내용 교과 내용의 수직적 연계성에 대한 연구가 대부분 연구자의 주관에 의해 연계성을 분석, 판단하고 있음을 지적하였다. 그들은 교육과정의 수직적 연계성 분석을 위한 구체적인 분석 준거를 내용의 표현 방법과 내용의 수준에 따라 2원화하여 구분하였고 이를 기반으로 누구나 사용할 수 있는 연계성 분석의 준거를 다음과 같이 제안하였다.

(1) 『반복』 : Tyler(1949)의 교육과정 구성 원리인 계속성과 계열성 중에서 계속성은 있으나 계열성은 없는 상태를 말한다. 학습 내용이 점진적으로 심화 확대되지 않고 동일 요소가 반복되고 있음을 의미한다.

(2) 『발전』 : 학년이나 학교급이 올라가더라도 중요한 학습 내용은 반복하여 계속성을 가지되 단순히 동일한 내용을 반복하는 것이 아니라 점차적으로 깊이와 넓이를 더해 가는 학습이 이루어지도록 구성된 것을 의미한다

다. 계속성과 계열성이 함께 고려된 이러한 구성을 통해 교육 내용의 수직적 전개가 이상적으로 이루어짐으로써 학생들의 학습 또한 발전적으로 심화·확대될 수 있는 상태로 볼 수 있다.

(3) 『격차』 : Gagne(1970)의 학습 위계 이론에 비추어 볼 때 학습 위계상에서 상위에 위치하는 개념이나 기능을 학습하는 데에는 일련의 하위 소인에 대한 학습이 선행되어야 한다. 그런데 교육과정의 내용 구성에서 이러한 하위 소인들에 대한 학습과제가 누락됨으로써 상위소인의 학습이 불가능한 경우, 계속성의 결여로 인해 하위 소인에 대한 충분한 학습이 이루어지지 않아 해당 소인의 재생이 어려워진 경우, 또는 학습과제가 지닌 결함으로 인하여 학습 내용들의 통합이 잘 안 되는 경우에는 그 연계성에 격차가 있음을 의미한다.

이상에서 언급한 『반복』, 『발전』, 『격차』는 교육과정 연계성을 판단하는 하나의 틀이 될 수 있으며 계속성의 원리와 계열성의 원리가 상호 복합적으로 적용되었을 때 발전이 되고, 각각의 일부가 상대적으로 더욱 강조되었을 때는 『반복』이나 『격차』가 나타난다(송순희, 김윤영, 1998).

3. 텍스트 마이닝과 개념 관계망 분석

1) 텍스트 마이닝

텍스트 마이닝은 구조화되어 있지 않은 문서로부터 자동적으로 정보를 추출하고 패턴을 분석하는 것이다. 텍스트 마이닝 기법은 특히 문서의 주제를 찾아내거나(Clifton, Cooley, & Rennie, 2004), 전체 문서의 내용을 자동적으로 요약하는 등(Mani & Maybury, 1999) 텍스트로부터 의미 있는 정보나 지식을 추출하는 데 이용될 수 있다. 이러한 연구에 텍스트 마이닝을 적용하는 과정은 일반적으로 데이터 수집, 데이터 저장, 데이터 활용의 단계로 나뉘는데, 본 연구에서는 분석 자료인 교과서로부터 문장을 추출하고 전처리하여 교과서에서 텍스트 형태로 제시된 생물학 내용을 데이터베이스화 한 후, 이 데이터베이스를 기반으로 개념들 사이의 관계를 분석하는 데 텍스트 마이닝 기법을 사용하였다.

2) 개념 관계망 분석

활성화 확산 모형(spreading activation model)(Collins & Loftus, 1975)에서는 인간의 기억은 여러 개념들이 서로 연결된 일종의 네트워크를 형성하여 저장된다고 본다(Anderson, 1983). 또 학습 과정에서 과학 지식은 학습 과정에서 학습자의 인지 구조 내에서 해당 주제와 관련된 단일 개념들이 서로 연결되고, 그 연결을 통해 하나의 네트워크인 개념 구조(conceptual structure)를 이룸으로써 의미가 형성되고 학습이 일어난다(diSessa, 2008). 인간의 인지 구조에 대한 이러한 관점에 따르면 인지적 과정을 통해 만들어지는 모든 형태의 저작물에는 저작자의 인지구조가 반영된다고 볼 수 있다. 따라서 언어적 저작물인 텍스트에 포함된 개념 사이의 구조적 관계를 분석하는 것은 저작자의 인지구조 내에 존재하는 개념들의 연결 구조를 유추할 수 있는 수단이 된다(Doerfel & Barnett, 1999; Jang & Barnett, 1994; Park & Leydesdorff, 2004; 박경

진, 정덕호, 조규성, 2013). 텍스트에 대한 이러한 관점은 학생들이 학습해야 할 지식의 총체인 교과서에 대해서도 동일하게 적용될 수 있을 것이다.

본 연구에서는 교과서에 포함된 생명과학 내용을 수많은 생물학 개념들이 구성하는 일종의 지식 체계, 다시 말해 개념들이 이루는 네트워크로 보고 그 네트워크가 나타내는 특징을 알아보려고 하였다. 이를 위하여 최근 다양한 분야에서 활용되고 있는 네트워크 분석 방법을 연구의 목적에 맞게 수정 보완하여 적용하였다.

교과서의 문장에 포함된 개념과 그 개념들 간의 관계를 분석한다는 면에서 본 연구는 일종의 의미망 분석(Drieger, 2013) 또는 ‘언어네트워크 분석’(Popping, 2003) 연구에 해당한다. 개념 관계망(네트워크)에 대하여 학자마다 다른 용어를 사용하고 있고, 그 분석 방법에 대한 명칭 또한 명확한 구분 없이 혼용되어 왔다(박치성, 정지원, 2013).

본 연구의 분석 대상은 교과서에 포함되어 있는 생물학 지식의 체계이고, 지식을 구성하는 것은 용어나 단어의 기호(symbol) 자체가 아닌 개념이다. 인간이 사용하는 단어는 인지 구조에 자리매김 된 개념의 표상으로서 이러한 개념들이 서로 연결되어 의미가 형성된다. 따라서 본 연구에서는 교과서에 나타난 지식의 체계를 ‘언어 네트워크’라는 용어 대신에 ‘개념 관계망’이라는 용어를 사용하였다.

개념 관계망 분석은 지식을 구성하는 개념들 사이의 연결 양상을 분석하고, 이를 시각화함으로써 텍스트에 포함된 지식의 체계와 그 의미를 도출하기 위한 연구 방법이다. 전통적인 내용분석이 텍스트에 포함된 개념의 빈도를 분석하는 데 초점이 맞추어져 있었다면, 관계망 분석은 개념의 빈도뿐만 아니라 개념들 사이의 관계까지 분석함으로써 기존의 내용 분석 연구가 지니는 한계를 넘어 텍스트에 대한 심도 있는 분석을 가능케 한다(Carley, 1997).

Drieger(2013), Leydesdorff, L. (2007), 그리고 Paranyushkin, D. (2010) 등은 텍스트에 대한 시각적 분석 방법으로서 개념 관계망 분석의 방법과 과정을 정리하여 제시하고, 의미망 분석(semantic network analysis)을 통해 텍스트로부터 생성된 개념 관계망을 분석하여 그 구조와 의미를 파악할 수 있음을 보여주었다. 이 연구에서 그는 의미망 분석은 양적 분석의 데이터를 얻기 위한 자동화된 관계망 분석과 의미망의 질적 측면을 밝히는 인간 중심의 의미 분석으로 나뉜다고 보았다.

자동화된 관계망 분석은 알고리즘을 사용하여 주어진 네트워크에 대한 지수를 계산함으로써 네트워크의 구조적 특징을 확인하고, 네트워크에 대한 질적 분석을 도울 양적 측정값을 얻는 데 사용된다. 반면에 의미 분석은 주로 대상 네트워크에 대한 질적 탐색이나 분석적 추론을 위한 네트워크의 의미 구조에 대한 인간의 해석과 이해 과정에 기반 하여 이루어지며, 영역 특이적인 지식과 실제 세계에 대한 범용적 지식의 영향을 받는다(Helbig, 2006).

인간은 대량의 데이터를 빠르고 정확하게 처리할 수 없고, 또 컴퓨터는 관계망의 실제적 의미를 탐색하거나 분석할 수 없기 때문에 이 두 과정은 구분될 필요가 있으며, 두 가지 분석 방법 모두가 의미망 분석에 있어 상호 보완적인 기능을 한다(Drieger, 2013).

개념 관계망은 기본적으로 노드(node)와 연결(edge)로 구성된다. 사회 네트워크에서는 하나의 노드가 사람을 나타낸다면, 개념 관계망에서의 노드는 개념을 나타낸다. 개념은 다른 개념들과의 관계에 의해 관계망에서 특정 위치를 점하게 되는데, 각각의 연결을 이루는 개념간의 의미론적 근접도(proximity)에 따라 그 위치가 결정되며(Wilkins, 1971), 각 개념이 네트워크 형성에서 기여하는 역할에 따라 전역적 혹은 지역적 중심성을 지닐 수 있다. 노드와 연결선으로 구성된 개념 관계망이 나타내는 네트워크의 구조는 분석 대상에 포함된 여러 개념들이 모여 형성하는 의미를 반영하게 된다(Paranyushkin, 2010).

텍스트로 부터 구성된 개념 관계망은 다시 연구자의 관심사나 필요에 따라 다시 하위 관계망(subgraph)으로 필터링 될 수 있다. 특정 개념을 중심으로 한 개념 관계망(ego network)과 같이 전체를 구성하는 일부분의 관계망이나 서로 강하게 연결되어 군집(cluster, community)을 이루는 개념군도 하나의 하위 관계망으로 볼 수 있다(Dreiger, 2013). 개념 관계망을 구성하는 주요 요소들과 그로부터 얻어질 수 있는 양적, 질적 속성들을 <표 II-6>과 같이 요약될 수 있다.

<표 II-6> 개념 관계망 분석의 주요 요소와 의미

요소	양적 지수	질적 의미
네트워크의 구조	밀도, 연결정도 분포, 지름 등	관계망의 기하(위상)적 특징, 개념 관계의 형세
개념(노드)	연결정도	개념이 다른 개념과 함께 쓰여 의미를 형성하는 정도. 지역적 중심성
중심개념(허브)	중심성 (연결정도, 사이중심성)	개념이 관계망의 의미 형성에 기여하는 정도. 지역적, 전역적 중심성.
관계(연결)	연결의 강도, 개념 간 근접도	연결된 두 개념이 함께 쓰이는 정도, 관계의 강조 정도, 두 개념의 의미적 거리(근접도)
개념군(클러스터)	모듈성, 뭉침 계수 등	특정한 의미나 주제를 나타내는 강하게 연결된 개념들의 집합

아래 절에서는 개념 관계망에 대한 네트워크 분석에 있어 고려해야 할 사항들과 각 중심 요소들에 대한 양적, 질적 분석의 의미를 정리하였다.

(1) 노드(node)

네트워크 분석은 내용분석과 마찬가지로 네트워크의 경계, 즉 분석의 범위와 단위를 설정하는 데서부터 시작된다. 텍스트를 대상으로 하는 네트워크 분석은 일반적인 네트워크 분석과는 달리 명확한 범위의 텍스트가 주어진다는 특징이 있는데 주어진 텍스트에 포함되어있는 수많은 개념을 어

떻게 노드로 전환시키는가, 그리고 어느 범위까지만 노드로 전환시킬 것인가에 대한 결정이 이루어져야 한다. 이 과정은 주어진 텍스트에 나타난 모든 개념을 노드로 사용하기 보다는 대개 연구주제와 목적에 따라 적합한 개념들만을 선택적으로 추출해 나가는 과정이다(박치성, 정지원, 2013).

분석에 사용할 노드를 선정하기 위해서는 먼저 텍스트에서 개념을 추출하게 되는데 부가적인 어휘(stopwords, 조사, 부사, 대명사, 일반적 동사, 형용사)들을 제외시키고 주로 명사나 명사구로 된 개념들만을 추출하게 된다(Paranyushkin, 2011). 또한 명백하게 같은 의미를 표상하는 서로 다른 어휘들의 경우, 같은 개념으로서 코딩되어야 한다. 본 연구에서는 교과서로 부터 얻어진 대량의 텍스트로부터 생물학 개념을 추출하기 위하여 텍스트 마이닝에서 사용되는 자연어처리(NLP) 기술인 형태소 분석 기술을 이용하였다.

노드로 사용할 개념에 대한 1차적인 추출 후 확정적인(confirmatory) 접근과 탐색적인(exploratory) 접근 등 두 가지 방식을 통하여 실제 분석에 사용할 개념(노드)을 최종 선정하게 된다(Carley, 1997; Carley & Palmquist, 1992). 확정적인 접근은 기존의 이론에 따라 노드의 범위를 정하는 연역적인 접근법이다. 이 접근법은 연구주제에 대한 이론적 프레임이 이미 존재하는 경우 그것을 사용하여 주요 개념(노드)을 정의해 주는 방식이다.

반면에 연역적 접근을 위한 적당한 이론적 프레임이 존재하지 않거나 연구의 목적이 탐색적인 성격이 큰 경우 연구자는 탐색적 접근을 통해 노드의 경계를 결정할 수 있다. 탐색적 접근에서는 경험적인 방법에 따라 연구자가 분석 대상 텍스트를 모두 읽거나 양적 내용 분석을 통해 어떤 개념들을 노드로 포함할 것인가를 귀납적으로 결정하게 된다. 경험적인 방법에 의해 노드를 선택하는 경우는 다시 연구자의 주관적 판단에 의하여 노드를 정의하는 방법과 연구자의 주관을 최대한 배제하는 방법이 있을 수 있다. 탐색적 연구에서는 연구자의 주관을 최대한 배제하기 위해 전처리와 1차 추출을 통해 추출된 모든 노드(개념)를 네트워크 분석대상으로 삼을 수 도

있다. 이러한 접근법을 사용할 경우 연구자의 주관의 개입될 가능성이 최소화되기 때문에 연구 결과의 신뢰성이 높아질 수 있다는 장점이 있다(박치성, 정지원, 2013).

개념 관계망의 분석을 위한 노드(개념)의 선택 과정에서 어떤 방법이 가장 좋은 방법인지 정해진 공식이 존재하지는 않는다. 본 연구에서는 탐색적 접근법에 따라 노드(개념)를 설정 하였고, 가능한 연구자의 주관을 배제 할 수 있도록 교과서에서 나타난 개념들을 최대한 포함하여 노드를 설정한 후 필요에 따라 빈도 등으로 노드의 범위를 줄여가는 가는 방법을 사용하였다.

네트워크 분석적 관점에서 노드는 해당 노드와 직접 연결된 노드의 수를 나타내는 연결 정도(degree)를 양적 속성으로 갖는다. 노드는 개념을 나타내므로 한 개념에 연결된 개념의 수는 해당 개념이 네트워크에서 점하는 위치와 함께 얼마나 다양한 개념들과 연결하여 의미를 형성하는 지에 대한 직관을 제공한다. 연결 정도가 높은 개념은 관계의 분화도가 높음을 암시할 뿐만 아니라 해당 개념이 의미망에서 지역적 허브의 역할을 하고 있음을 의미한다.

(2) 관계(edge)

텍스트로부터 얻어지는 개념 관계망은 같은 텍스트에 대하여 동일한 개념들을 사용하더라도 관계를 어떻게 정의하느냐에 따라 두 노드가 연결될 수도 있고 분리될 수도 있기 때문에 최종적으로 전혀 다른 구조의 네트워크가 도출될 수도 있다. 따라서 ‘관계’를 어떻게 정의 하고 측정할 것인가는 개념 관계망 분석에서 매우 중요한 문제이다.

개념 관계망 분석에서 개념(node)들 간의 관계(edge), 즉 한 개념이 다른 개념과 연결된 정도는 두 개념이 의미적으로 얼마나 가까이 위치하는가를 나타내는 근접성(proximity)을 조작적으로 정의함으로써 판단될 수 있다(Drieger, 2013; Moody, 1990; Paranyushkin, 2011).

여러 개념 관계망 분석 연구에서 공출현(co-occurrence)이라는 개념을

통해 개념간의 간의 근접성을 정의하고 사용하고 있다(Leydesdorff & Welbers, 2011; 박치성, 정지원, 2013). 공출현이란 텍스트의 특정 분석 단위에서 개념(노드)들이 함께 출현하였을 때 해당 단위 내에 있는 모든 노드들은 서로 의미론적인 연관이 있다고 가정하는 것이다. 이때 중요한 것은 공출현 판단의 단위를 어떻게 정할 것인가이다.

분석 단위의 설정 방법과 기준에 대해서는 정답이 있는 것이 아니라 연구자가 텍스트의 성격과 연구목적에 고려하여 판단하여야 한다. 분석 단위는 연구의 목적에 따라 인접한 두 개념 혹은 한 문장, 한 단락 등으로 다양하게 설정될 수 있으나, 일반적으로 텍스트에 대한 개념 관계망 분석에서는 단일 문장이 분석의 기본 단위로 사용된다(박치성, 정지원, 2013). 관계가 있는 노드간의 각 연결은 관계가 나타난 빈도나 연결된 노드들의 중심성과 같은 양적 통계량에 따라 가중치를 지닐 수도 있고, 연결된 두 개념 사이의 인과적 관계 등에 따라 방향성을 가질 수도 있다.

본 연구에서는 한 문장을 분석 단위로 하여 한 문장에 같이 쓰인 개념들은 서로 관계를 가지는 것으로 정하였고, 교과에서 각 관계들을 포함하는 문장의 수, 즉 빈도에 따라 가중치(weight)를 부여한 방향성 없는 네트워크(undirected network)로 개념 관계망을 구성하였다. 따라서 연결선은 연결된 두 개념이 함께 쓰인 문장이 있음을 의미하며, 그 빈도가 높을수록 함께 쓰인 정도가 많음을 나타낸다. 연결의 유무와 연결의 강도가 나타내는 의미는 연구자에 의해 질적으로 분석되어야 하며, 이러한 분석의 과정을 통해 연구자는 중요한 의미를 지니는 연결을 찾아 낼 수 있다.

(3) 관계망의 구조 분석

관계망의 전체적인 구조는 통계적 방법에 따라 양적으로 조사될 수 있다. Barabási와 Albert(1999)는 현실 세계에 존재하는 많은 거대 네트워크가 멱함수 분포(power-law distribution)를 따름을 밝혔다. 멱함수 분포는 네트워크의 기하학적(topology) 특징을 보여주고, 노드들과 클러스터들에 대한 분석의 힌트를 제공한다. 텍스트로부터 추출된 네트워크가

가지는 특징을 확인한 여러 연구에서 대량의 텍스트에서 개념의 연결 정도 분포가 이러한 멱함수 분포의 특성을 나타내는 것으로 알려져 있다 (Masucci & Rodgers, 2006; 박별나 등, 2010).

네트워크의 이러한 속성을 알게 됨으로써 연구자는 손쉽게 중요한 노드와 클러스터를 판단할 수 있고, 지름(diameter)이나 밀도(density)와 같은 지표를 사용하여 서로 다른 두 네트워크를 비교하고 특징을 파악할 수 있다.

개념 관계망에 포함된 노드의 수는 해당 의미 영역에 포함된 개념의 다양성을 나타내는 지표가 될 수 있으며, 밀도(density)를 통해서는 네트워크가 성긴 편인지 촘촘한 편인지 어렵할 수 있다. 밀도는 네트워크에서 노드 간의 전반적인 연결정도를 나타내는 지표로, 연결 가능한 모든 관계에서 실제로 맺어진 관계 수의 비율로 정의된다. 따라서 네트워크를 구성하는 노드들 사이에 연결이 많을수록 네트워크의 밀도가 높고, 높은 밀도의 네트워크는 노드의 응집력(cohesion)이 높다고 볼 수 있다. 성긴 개념 관계망은 전체적으로 의미가 집중되지 않고 있음 나타내고, 반대로 밀도가 높아 촘촘한 네트워크는 더 많은 개념들 사이의 관계가 활성화되고 서로 밀착되어 있다고 질적인 해석이 가능할 것이다. 네트워크의 지름(diameter)은 네트워크 내에 임의의 두 노드간의 최단 경로 거리 중 가장 긴 거리를 나타내는데, 일반적으로 네트워크의 밀도가 높으면 지름은 작아지는 경향이 있다.

전체 네트워크의 구조에 대한 질적인 분석은 주요 하위 구조를 인식하는 데 도움이 된다. 중심성이 높은 노드인 허브와 클러스터를 통해 전체 구조를 맥락적으로 인식할 수 있으며, 이를 통해 연구자는 전체를 아우를 수 있는 관점을 얻게 된다.

(4) 중심성과 허브(hub)

중심성(centrality)은 중앙성 혹은 중심도라고도 하며, 한 노드가 전체 연결망에서 차지하는 중요도를 나타내는 양적 지표이다. 중심성은 다양한

방법으로 측정되고 있으며, 대표적으로 연결 정도에 기초해 계산되는 연결 중심성(degree centrality), 근접중심성(closeness centrality), 사이중심성(betweenness centrality), 위세중심성(eigenvector centrality)이 있다. 이들 중 개념 관계망 분석에서 주로 사용되고 있는 중심성 지수를 살펴보면 다음과 같다(Drieger, 2013; Tanaka, Takahashi, & Tsuda, 2013).

연결중심성(degree centrality)은 특정 개념(node)이 다른 개념들과의 연결된 정도를 중점적으로 보는 지표로서 한 개념에 연결된 다른 개념의 절대적인 수에 비례하는 값을 갖는다. 방향성을 갖는 관계망(directed network)의 경우 각 노드의 연결정도 중심성은 다시 내·외향 연결방향의 비율에 따라 해당 노드로 오는 방향의 연결정도를 측정하는 내향 중심성(in-degree centrality)과 그 노드에서 다른 노드로 나가는 방향의 연결정도를 측정하는 외향 중심성(out-degree centrality)으로 나눌 수 있고, 연구의 목적에 따라 연결정도에 각 연결의 빈도를 가중치로 반영한 가중 연결정도(weighted degree)를 사용하기도 한다(김용학, 2011; 김용학, 2015). 전체 연결 수에 대한 각 노드의 연결 정도의 비율로 계산되는 연결정도 중심성이 높은 개념은 많은 다른 개념들과 관계를 형성함을 의미하고, 이 개념과 연결되어 개념군을 형성하는 다른 개념들을 대표하는 지역적 중심 개념이라고 볼 수 있다.

사이중심성(betweenness centrality)은 매개중심성이라고도 하며, 관계망에서 특정 노드가 다른 두 노드의 연결을 중개하는 정도를 나타내는 지수이다(Freeman, 1977). 연결정도가 낮아 관계망에서 지역적인 개념군을 대표하는 정도는 낮은 개념일지라도 그 개념이 관계망에 포함된 여러 개념군을 연결하고 있다면 해당 개념은 관계망 전체를 대표하는 전역적 대표성을 나타내는 개념일 수 있다(Paranyushkin, 2011). 따라서 개념 관계망을 구성하는 노드들의 사이중심성은 텍스트의 의미 추출에 있어 위한 중요한 지수가 될 수 있다(Tanaka et al., 2013).

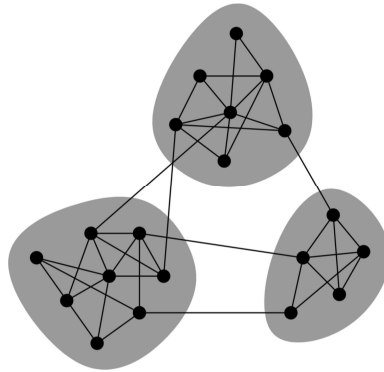
위세중심성(eigenvector centrality)은 네트워크상에서 특정 노드가

가지는 중요성을 측정하기 위한 것으로, 즉 높은 중심성을 가진 노드와의 연결이 낮은 중심성을 가진 노드와의 연결보다 중요하다는 가정에 터해 상대노드의 중요도에 따라 연결된 노드의 중심성에 가중치를 부여하는 중심성 측정 방식이다.

관계망을 구성하는 각 노드들은 관계망 형성에 기여하는 역할과 정도에 따라 각각 다른 중심성을 가지게 된다. 이 때 중심성이 두드러지게 높은 노드들을 허브(hub)로 볼 수 있는데, 일반적으로 관계망에서 노드의 중심성을 나타내는 지수들은 정적 상관을 보이는 경향이 있다(Valente et al., 2008). 이러한 정적 상관의 경향에도 불구하고 개념 관계망에서는 노드마다 그 중심성 지수가 조금씩 다른 특징을 나타낸다. 예를 들어 연결중심성은 상대적으로 낮더라도 사이중심성이 높은 개념은 관계망의 전체적인 의미를 대표하는 개념일 가능성이 큰 전역적 허브로 볼 수 있다. 반대로 연결 중심성은 높지만 사이 중심성은 상대적으로 낮은 개념은 특정 맥락에서만 자주 언급되는 개념으로 지역적 허브로 볼 수 있다. 전체 개념 관계망에 대하여 연결 정도가 높은 개념만을 필터링하여 네트워크를 구성해 보면 개념 관계망에서 부분적 의미를 형성하고 있는 지역적 허브를 확인할 수 있는데, 필터링을 통해 생성된 네트워크는 연결 정도가 높은 개념들로 구성된 네트워크로 본래의 텍스트에 대한 개괄적 요약을 제공한다. 이러한 허브 개념들은 네트워크의 부분을 구성하는 개념군인 클러스터들을 연결함으로써 더 복잡한 의미를 구성하는 중개자 역할을 할 수도 있다(Drieger, 2013).

(5) 개념군(cluster)과 군집 분석

개념군은 한 네트워크 내에서 다른 개념들 보다 상대적으로 서로 더 강하게 연결된 개념들이 군집을 이루는 것을 나타낸다. <그림 II-1>에서와 같이 특정 노드(개념)들 간의 관계가 부분적으로 밀집되어 상대적으로 연결이 많지 않은 개념들과는 지역적으로 구분될 때 군집이 형성되며, 모듈(module) 또는 커뮤니티(community)라고도 한다(Newman, 2006).



〈그림 II-1〉 네트워크에서 나타나는 군집 (Newman, 2006)

이 처럼 하나의 개념 관계망은 하위네트워크(subnetwork 혹은 subgraph)로 구분될 수 있으며(Dreiger, 2013; 김용학, 2011), 이 하위네트워크는 각각 전체를 구성하는 부분적 의미 영역, 즉 개념군에 대응된다.

군집 분석은 전체 네트워크가 〈그림 II-1〉에서처럼 다양한 하위집단에 의하여 구성된다고 가정하고, 어떠한 선험적 정보도 이용하지 않고 네트워크 내에 포함된 하위집단(군집)을 귀납적으로 탐색하고자 할 때 유용한 방법이며, 이를 위한 다양한 알고리즘이 개발되고 있다(Newman, 2006). 컴퓨터를 활용함에도 불구하고 네트워크가 커질수록 군집 분석에 필요한 시간은 기하급수적으로 증가하게 되는데, Blondel, Guillaume, Lambiotte, 그리고 Lefebvre(2008)은 이러한 문제를 완화할 수 있는 빠른 군집 분석 알고리즘을 개발하고 제안하였다.

어떤 관계망이 하위 커뮤니티로 나누어지는 정도는 모듈성(modularity)의 분석을 통해 알아볼 수 있다(Newman, 2006). 모듈성은 '하위집단 내 노드들 간 실제 존재하는 관계의 수에서 동일 노드들이 전체 네트워크에 있는 노드들을 대상으로 무작위로 가질 수 있는 관계의 수의 기댓값을 뺀 것'으로 정의되고 모듈성의 값(Q)은 음, 양의 값이 가능

하다(박치성, 정지원, 2013). 모듈성이 양이고 그 값이 클수록, 네트워크에 커뮤니티 구조가 존재할 가능성이 높다는 것을 의미한다.

개념 관계망 분석에서 커뮤니티의 구조를 분석하는 것의 의미는 맥락적 군집(contextual cluster) (Paranyushkin, 2011)을 이루는 개념군을 파악함으로써, 이러한 맥락적 군집들이 앞서 논의한 중심성을 가진 허브(hub) 개념들과 함께 어떤 의미를 구성하고 있는지를 파악할 수 있게 해 준다는 점이다(Drieger, 2013).

3) 개념 관계망 분석 방법을 활용한 텍스트 분석의 장점

텍스트를 대상으로 하는 개념 관계망 분석 방법이 전통적인 내용 분석 방법과 비교하여 가지는 장점을 종합해 보면 다음과 같이 정리될 수 있다.

첫째로 개념 관계망 분석에서는 분석 대상 텍스트에서 선형적인 방법으로 명제나 지식을 구성하는 개념들을 해체한 후, 이를 다시 조합하여 다차원으로 시각화하고 이를 통해 1차원적인 선형의 텍스트에서는 분명히 드러나지 않고 있는 주요 의미를 파악할 수 있도록 한다는 것이다. 개념 관계망 분석은 텍스트에 포함된 의미의 구조를 공간적으로 표시함에 따라, 텍스트에 나타난 주요개념과 다른 개념들과의 관계를 시각적으로 파악하고, 네트워크 형태로 나타난 개념들 간의 관계를 해석할 수 있는 가능성을 열어준다(Paranyushkin, 2010; Dreiger, 2013).

두 번째로 개념 관계망 분석은 전통적인 내용 분석의 방법을 포괄하기 때문에 질적 방법과 양적 방법을 동시에 적용할 수 있다는 장점이 있다. 개념 관계망 분석을 통해 연구자는 텍스트 자체에서 어떤 개념과 관계가 나타나고 있는지 아닌지를 실증적으로 분석하는 방법과 텍스트에 대해 코딩된 내용을 통계적 적으로 분석하는 접근 방법 사이를 손쉽게 전환해 가며 연구를 수행할 수 있게 된다. 또 이를 통해 텍스트에서 명시적으로 나타나고 있는 내용과 잠재적으로 암시되고 있는 내용 사이의 차이를 통계적으로 검증 하는 등의 분석이 가능해진다(Carley, 1993, 1997).

세 번째로 Myers와 O'Brien(1998)은 사람이 텍스트를 읽고 이해하는

과정에서 먼저 제시된 개념이나 명제에 의해 그 다음 내용에 대한 이해가 이루어지기 때문에, 먼저 사용되고 가장 많이 사용된 개념이 전체 텍스트에서 가장 영향력이 큰 개념이고, 그 텍스트를 이해하는 데 가장 중요한 개념이라고 보았다. 이러한 관점에서 네트워크 분석을 통하여 네트워크 중심성(network centrality)이 높게 나타난 개념, 가중치가 높게 나타나고 있는 관계들을 통해 전체 텍스트를 대표하는 개념과 의미를 이해할 수 있다(박치성, 정지원, 2013).

네 번째로 네트워크 분석을 통해서만 특정 개념이 출현 빈도만을 분석하는 데 그치지 않고, 그 개념이 다른 개념들 사이의 관계와 개념들의 배열에서 나타나는 패턴, 구조 등에 대한 분석이 가능하다. 이러한 분석을 통해 사이중심성이 높은 두 개념 사이의 의미 순환을 찾거나, 텍스트에 포함된 의미의 군집을 발견하고 군집들 간의 관계를 탐색하는 것이 가능해진다(Paranyushkin, 2010).

4. 관련 선행 연구 고찰

이 절에서는 본 연구의 목적과 관련하여 교과서의 내용과 연계성 분석 선행 연구와 본 연구에서 사용한 관계망 분석 관련 연구, 그리고 이를 활용한 과학교육 분야의 선행 연구의 주요 내용을 정리하고 고찰하였다.

1) 과학 및 생명 영역의 연계성 분석 관련 연구

송순희 등(1991)은 수학 및 과학 교과내용의 연계성 분석을 위한 준거 모형 설정 연구에서 학교급별 교과 내용의 연계성에 대한 연구가 대부분 연구자의 주관에 의해 이루어지고 있음을 지적하고 연계성 분석을 위해 누구나 사용할 수 있는 구체적인 분석 준거로서 ‘반복’, ‘발전’, ‘격차’를 교과 내용의 수직적 연계성의 분석 준거로 제안하였다.

백성혜, 김효남, 그리고 조부경(2000)은 유아, 초등, 중등 과학 교육과정의 연계성 분석을 위한 도구 개발 연구를 수행하였다. 이 연구에서는 과학 개념의 연계성 분석에 적절한 도구의 개발을 위하여 화학의 주요 학습 내용인 ‘물질의 성질’에 대해 교육과정에서 제시하고 있는 학교급별 내용을 타나내는 개념도를 작성하고 이를 비교 분석함으로써 연계성을 분석하는 방법을 제시하였다. 이 연구는 연구자에 의해 수작업으로 개념도를 생성하기는 하였으나, 교육과정 내용에 포함된 개념 사이의 관계를 시각하고 이를 정성적으로 분석함으로써 교과 내용에 대한 연계성의 분석이 이루어질 수 있음을 보였다.

김영신 등(2009)은 제 7차 교육과정의 초·중·고등학교에서 가르쳐지고 있는 생물 내용의 수업 목표에서 나타나는 연계성을 분석하였다. 이 연구에서는 연계성 분석을 위해 생물학 영역(주제)을 세포, 식물의 형태와 기능, 동물의 형태와 기능, 유전, 생물의 다양성, 진화, 생태와 환경의 7가지 영역으로 나누어 교사용 지도서와 교과서에 제시되고 있는 수업 목표 진술문에 나타난 수평적, 수직적 연계성 분석을 수행하였다. 분석을 통해

각 영역의 주요 개념들이 특정 학교급에서 다루어지고 있는 정도를 양적으로 분석하고 그들 사이의 연계성을 정성적으로 분석하여 제시하였다. 이 연구는 초·중·고의 모든 학년의 교과서에서 제시된 생명 영역 수업 목표에 대한 분석을 통해 2007 개정 및 2009 개정 교육과정의 생명 영역의 내용 체계 개발을 위한 기초 자료를 제공하였다는 점에서 의의가 있다.

이효녕과 여채영(2015)은 광합성 개념을 중심으로 여러 나라의 교육과정에서 나타나고 있는 연계성을 분석하였다. 2009 개정 과학과 교육과정에 나타난 연계성을 분석한 이 연구에서는 우리나라 과학과 교육과정의 내용 체계가 수직적(종적) 연계성에 초점을 두고 있으며 상대적으로 교과 간의 수평적(횡적) 연계성에 소홀하다는 문제점을 지적하였다. 연구자들은 교육과정의 내용 체계를 분석한 결과를 바탕으로 현행 과학과 교육과정의 내용 체계를 이루는 개념 선정의 기준과 교육과정의 내용이 학생들의 발달이나 수준에 적절한지를 뒷받침할 근거가 부족함을 지적하고, 이러한 문제의 해결을 위해서는 우리나라 교육 현장에 적용이 가능한 학습발달 과정에 대한 연구와 그에 근거한 교육과정의 개발이 필요함을 피력하였다. 이 연구는 교육과정에서 제시하고 있는 내용만을 바탕으로 연계성 분석이 이루어졌다는 점에서 임수민과 김영신(2015)의 연구와 마찬가지로 실제 학교에서 가르쳐지는 교과서의 내용에 나타난 연계성을 분석하지는 못하였다.

우현주와 차희영(2013)은 제7차와 2009개정 과학과 교육과정에 따른 중·고등학교 교과서에서 진화 관련 단위 내용의 연계성을 분석하였다. 이 연구에서는 송순희 등(1991)이 제안한 분석 준거에 '축소' 범주를 추가하여 교과서에 포함되고 있는 진화 관련 내용을 개념, 탐구 활동, 삽화의 세 가지 측면에서 반복, 발전, 격차, 축소의 네 가지 범주로 구분하는 연계성을 분석하였다. 이 연구의 결과에서는 진화 관련 개념의 연계성 측면에서 7차 교육과정과 2009 개정 교육과정의 교과서 모두에서 발전보다는 반복과 격차가 많았고, 그 중에서도 특히 격차가 많이 나타나고 있어 수직적 연계가 잘 이루어지지 않고 있음이 보고되었다. 또 연구자들은 고등학교 과학 과목이 모두 선택 과목으로 운영되는 2009개정 교육과정 도입에 따

라 학생들이 계열 및 생명과학Ⅱ의 선택 유무에 따른 학습의 연계도 달라짐을 지적하고, 융합과학과 생명과학Ⅱ를 모두 선택하지 않을 경우에는 학생들이 진화 내용의 대부분을 학습하지 않게 되고, 심각한 경우 고등학교 과정에서는 진화 내용을 전혀 학습하지 않을 수도 있는 문제가 있음을 지적하였다.

강연경과 송방호(2008)는 7차 교육과정의 중학교와 고등학교 과학 및 생물1,2 교과서의 유전 관련 단원에서 읽을거리와 탐구 주제로 제시된 내용에 대해 송순희 등(1991)이 제안한 준거를 수정한 반복, 변화, 발전, 격차의 준거를 사용하여 학교급 및 학년 간 수직적 연계성 분석을 수행하였다. 분석 결과를 통해 7차 교육과정의 유전 내용의 경우 중학교와 고등학교 사이의 학교급 간의 격차는 크지 않았으나, 고등학교의 학년 간(11~12학년)에는 격차가 크게 나타나고 있음을 보고하였다. 7차 교육과정의 교과서에서는 유전 관련 탐구 주제의 수가 학년이 올라갈수록 교과 내용이 심화되면서 학습량과 수준에서 비약적인 증가를 보였고, 특히 9학년에서 고전유전학 관련 멘델의 법칙이 주된 내용이었으나, 11~12학년이 되면서 분자 수준의 유전자 구조 및 발현, 생명공학 관련 내용이 현저히 증가하는 것으로 나타나고 있었다.

정화숙 등(2001)은 송순희 등(1991)이 제시한 연계성 분석의 준거모형을 사용하여 6차 교육과정에 따른 중·고등학교 교과서에 포함된 광합성 관련 탐구 내용에 대한 연계성을 분석하였다. 신영준(2004)은 정화숙 등(2001)이 사용한 분석 준거를 사용하여 7차 교육과정의 국민공통기본교육과정 과학과 교과서의 생명영역에 포함된 탐구 활동의 연계성을 분석하였다. 이 연구에서는 학교급이 달라져도 ‘반복’되고 있는 탐구 활동에 대해서는 학생들의 인지 발달을 고려하여 내용 수준을 향상시킬 방안이 마련되어야 하고, 학생들의 인지 수준을 고려하지 않고 급격한 수준의 상승을 나타내는 ‘격차’를 보이는 항목은 줄일 필요성을 제기하였다. 교과서상에서 소재가 같은 탐구 내용이라고 하더라도 나선형 교육 과정의 의미를 살려 심화 확대로 자연스럽게 넘어가는 ‘발전’의 형태가 될 수 있도록 교과과서

의 내용이 구성되어한다고 주장하였고, 이를 위해서는 교육 과정 개발과정에서 학교급별로 개발팀을 나누어 개발하기 보다는 초·중·고 수준의 연계성을 고려하고, 학교급 간의 수준을 명확히 구분해 줄 수 있도록 통합적인 개발이 이루어질 필요가 있다고 주장하였다. 또 교과서 집필 시 교과서 집필자들이 서로 다른 학교급에서 개발하는 교과서를 참고할 필요가 있고, 교과서의 심사 과정에서도 학교급 간의 연계성을 고려하여 다른 학교급의 교과서와 면밀하게 검토할 필요가 있음을 역설하였다.

김남희 등(2012)은 2009 개정 과학과 교육과정에 따른 고등학교 ‘과학’과 생명과학 I·II 교과서에서 공통적으로 다루어지고 있는 생명과학 관련 주제들의 빈도를 분석하여 그 연계성을 분석하였다. 이 연구에서는 고등학교 과학의 ‘생명의 진화’ 단원의 내용은 생명과학 II의 내용과, ‘인류 건강과 과학기술’ 단원의 내용은 생명과학 I 과 연계성이 높은 것으로 나타났고, 일부 내용은 생명과학 I·II에서도 다루어지지 않는 내용이 고등학교 과학에서 다루어지고 있어 수직적 연계성이 낮은 주제도 있음을 보였다.

박재근, 강호감, 그리고 김용진(2007)은 7차 과학과 교육 과정에 따른 초등학교 교과서에 대한 분석을 통해 과학 교과의 생물 영역에서 다루고 있는 내용 요소가 타 교과목에서 어떻게 다루어지고 있는지를 분석하였다. 분석을 통해 제7차 초등학교 교육과정의 실과, 사회, 그리고 체육 교과에서 생물 교과와 다루는 내용의 중복을 확인하고, 해당 교과에서 다루고 있는 세부 내용 요소의 체계와 구성이 과학 교과에서 요구하는 수준과는 상당히 다르고 학년별 위계에서도 일치하지 않는 부분이 많음을 지적하였다. 또 과학과 생물 영역의 내용에는 포함되고 있지 않지만 타 교과에서는 다루어지고 있는 자연 재해와 환경, 사람의 생식 등과 같은 내용들이 생명 영역에서 다루어지거나 연계될 필요성이 있음을 보였다.

김현아, 이동준, 그리고 이준규(2006)는 7차 교육과정에 따른 중학교 과학 교과서 생명의 연속성 관련 단원의 개념을 추출한 후 각 개념 수준을 개념의 이해에 요구되는 Piaget의 인지 발달 수준에 따라 나누고 그 구성 체계를 분석하였다. 이를 통해 많은 학생들이 학습에 어려움을 겪는 것으

로 알려진 중학교 생명의 연속성 관련 내용에서 학습에 어려움이 발생하는 원인으로 생명의 연속성 관련 개념들이 중학교에서 다루는 다른 주제에 비하여 구체적 조작 수준 보다는 형식 조작 수준을 요하는 개념의 비율이 매우 높기 때문임을 밝혔다. 또 생명의 연속성과 관련하여 중학교에서 새로이 제시되는 개념 중 형식적 조작 수준을 요구하는 개념의 수가 크게 증가함으로 인해 학생들이 이와 관련한 내용을 학습할 때 어려움을 겪게 된다고 보고하였다.

심규철, 이부연, 그리고 김현섭(2003)은 7차 교육과정에 대한 교과서 분석을 통해 생명 영역의 물질대사에 관련한 학습 개념의 수준과 연계성을 분석하였다. 이 연구에서는 7차 교육과정의 국민공통교육과정인 초등학교와 중학교, 그리고 10학년 과학의 교과서 내용에서 물질대사와 관련한 개념의 수가 초등학교에서 중학교로 올라갈 때 급격하게 증가함과 학교급이 올라갈 수록 구체적 개념의 비율은 줄고 형식적 개념의 비율은 증가하여 것으로 나타났음을 보고하였다. 이 연구에서는 상급학년으로의 진급에 따라 학습자가 받게 되는 학습 부담과 이로 인한 과학 교과에 대한 흥미 감소의 우려가 있음을 지적하였고, 교과서 개발 시 학년 혹은 학교급에 따른 학습 양의 적정화와 학습자의 인지수준에 따른 학습 개념 제시에 대한 고려가 필요함을 제안하였다.

남수경 등(2010)은 학교급별 연계 현황과 문제를 진단하고 학교급 간 교육과정의 연계성을 강화할 방안을 모색하기 위하여 유·초·중·고등학교의 학교급 간 연계교육 현황 진단 연구를 수행하였다. 이 연구에서 연구자들은 2009 개정 교육과정부터 9년으로 조정된 공통교육과정과 고등학교 선택교육과정 간의 차이를 최소화하기 위해서는 교육과정 관련 제반 활동 및 교과서 개발에 중학교 및 고등학교 교사가 공동 참여할 필요가 있다고 하였다. 또 교과 교육과정을 개발할 때 각각의 교과들이 폐쇄적인 개발 과정을 거치게 하기 보다는 총론 수준에서 적절한 지침을 마련하여 교육과정 개발자들 간의 원활한 소통을 통해 각 교과 간, 학교급 간, 학년 간의 연계성에 대한 충분한 고려에 기반 한 공동의 의사결정이 이루어질 필요성을

피력하였다. 이를 위하여서는 각 교과별 초·중등 교육과정의 연계성 강화를 위해 보다 과학적인 연구 성과에 근거한 정보 수집·분석·관리·소통 시스템 구축이 선결되고, 초·중등학교 간 교육과정에 대한 체계적인 관리가 이루어져야 한다고 주장하였다. 이를 통해 초등이나 중학교 교사는 상급 학교에서 심화되는 내용을, 그리고 상급 학교의 교사는 학생들이 이전 학교급에서 배우는 사전지식을 숙지하고 이해할 수 있게 된다면 수업을 통해 학생들에게 유의미한 학습이 이루어질 수 있도록 지도할 수 있을 것이라고 전망하였다.

이상의 고찰을 통해 살펴본 연계성 분석의 준거 모형 설정 관련 연구와 과학과 생물 영역의 연계성에 대한 주요 연구들 외에도 다음과 같은 연계성 관련 연구들이 이루어져 왔다. 4차 교육과정 초·중·고등학교 생물교과서 분석 및 연계성에 대한 연구(강순자, 김영주, 1988), 5차 교육과정 교과서에 나타난 생물용어의 연계성을 분석한 연구(정완호, 최돈희, 1993), 5·6 차 교육과정 변천에 따른 고등학교 생물의 유전 단원의 연계성 분석·(최창준, 임낙룡, 2001), 5차 교육과정에 따른 초·중·고등학교 과학교과서의 환경내용 분석 및 연계성에 관한 연구 (유병선, 박병관, 1997), 6 차 교육과정 따른 초·중·고등학교 교과서 생물 영역의 환경 학습 내용의 연계성 분석(여성희, 1999), 7차 교육과정의 광합성 영역의 용어와 탐구의 연계성 분석 연구(정화숙 등, 2005) 등이 이루어져 왔다.

기존의 연계성 분석 연구 대부분이 광합성, 유전, 환경, 진화, 탐구 활동과 같은 특정 주제에 대한 내용을 대상으로 심층적인 분석을 수행한 분석이 주를 이루고 있었으며, 객관적이고 체계적인 양적 분석 보다는 정성적 분석의 성격이 강하였다. 또 최근에는 교육과정 전체의 교과서 내용을 생명 영역의 전 주제에 걸쳐 분석한 연구는 최근 교육과정이 수시 개정 체제로 바뀐 이후에는 거의 이루어지지 못하고 있음을 알 수 있다.

2) 텍스트에 대한 개념 관계망 분석 관련 연구

Diesner와 Carley(2005)는 텍스트로부터 ‘개념의 네트워크를 추출’함으로써 텍스트가 나타내는 표면적 또는 잠재적 의미를 분석하는 ‘컴퓨터의 지원을 받는 다양한 솔루션’을 지칭하여 네트워크 텍스트 분석(NTA, network text analysis)이라는 용어를 사용하였다. Diesner와 Carley가 그들의 방법론을 넓은 의미로 정의하고 있는 것에서도 알 수 있듯이, 개념 관계망 분석 혹은 언어네트워크분석은 단일한 방법론이 아니다. 다양한 분석 방법론들에서 공유되고 있는 가정은 텍스트를 통해 언어적으로 표현된 지식은 그 내용을 이루는 단어(개념)의 네트워크로 모델링 될 수 있고, 텍스트 네트워크 내의 개념들은 전체 텍스트의 의미와 주요 주제에 대한 통찰을 제공한다는 것이다. 따라서 개념 관계망 분석이란 이러한 가정에 터해 텍스트의 내용 분석에 네트워크 분석을 적용한 다양한 기법들을 통칭하는 것으로 볼 수 있다(Doerfel, 1998). 이와 같이 컴퓨터를 활용하여 텍스트의 내용에 대한 네트워크분석을 수행하는 다양한 기법들이 꾸준히 개발되고 이를 이용한 연구들이 이루어지고 있다(Carley & Palmquist, 1992; Corman, Kuhn, McPhee, & Dooley, 2002; Leydesdorff, 2007; Trigg & Weiser, 1986; van Atteveltdt, 2008).

텍스트를 분석 대상으로 하는 개념 관계망 분석은 키워드를 추출하여 개념화하고, 서로 관계가 있는 개념들 사이를 연결하는 과정, 그리고 이를 통해 생성된 네트워크에 대한 분석의 과정을 포함한다. 넓은 의미에서 개념의 관계망을 생성하고 분석하는 방법에 대한 연구로서 다음과 같은 연구들이 있었다. Trigg와 Weiser(1986)는 텍스트를 구조화하기 위한 시스템인 Textnet을 개발하고 소개하였다. Textnet은 개념 노드와 유형화된 연결들을 사용하여 일종의 의미망 형식에 따라 그래프를 도출하는 방법을 제공함으로써 인접한 텍스트 사이의 관계를 명시할 수 있도록 한다. Berners-Lee, Hendler, 그리고 Lassila(2001)는 인터넷(WWW)을 통

해 단순한 자료의 출력뿐만 아니라 컴퓨터 에이전트가 그 자료를 처리하고 해석할 수 있도록 하는 웹 콘텐츠의 구조인 의미망(semantic web) 개념을 제안하였다. 그리고 이 제안에 기초하여 van Atteveltdt(2008)는 미디어의 메시지에서부터 의미망을 자동으로 생성하고 분석할 수 있는 AmCAT 시스템을 개발하고 소개하였다. Corman et al.(2002)은 대량의 텍스트 저작물이나 전사 자료에 포함된 개념들의 중요도를 지수화하고 이를 네트워크로 시각화하는 새로운 텍스트 분석 방법인 중심화공명분석(centering resonance analysis)법을 제안하였다. 이들 연구와 함께 사회 과학에서의 네트워크 텍스트 분석(network text analysis: Carley & Palmquist, 1992), 커뮤니케이션 과학에서의 의미망(Danowski, 1993) 등과 같이 매우 다양한 분야에서 이루어진 연구가 개념 관계망 분석 방법과 관련된 연구로 볼 수 있다.

Diesner(2012)는 이러한 텍스트에 대한 네트워크 분석 연구들을 4가지 주요 분석 기준 - ‘자동화’, ‘추상화’, ‘일반화’, ‘의미의 해석’ - 에 따라 구분하였고, Hunter(2014)는 Diesner의 분석 범주를 단어의 ‘선정’, ‘개념화’, 개념의 ‘연결’, ‘의미의 해석’의 범주로 수정하여 대표적인 네트워크 분석 기법인 중심화공명분석(CRA), 사회과학에서의 텍스트 네트워크 분석(NTA), 의미 네트워크, 의미망 분석을 사용한 연구들을 고찰하여 <표 II-7>과 같이 정리하였다. <표 II-7>에 정리된 대표적인 연구 외에 텍스트에 대한 개념 관계망 분석과 관련하여 국외에서 수행되고 있는 연구들은 주로 사회과학 분야에서 미디어로부터 얻어질 수 있는 텍스트나 인터뷰에 대한 전사 자료를 대상으로 네트워크 분석을 수행한 연구들이 주로 이루어져왔다(Carley, 1994; Carley & Kaufer, 1993, Wasserman & Galaskiewicz, 1994).

〈표 II-7〉 텍스트로부터 개념 관계망을 생성하고 분석하는 다양한 방법

분석기법 / 접근법	추출 및 선정	개념화(추상화)	관계	의미 해석 방법
중심화공명분석 (Corman et al., 2002; Kuhn & Corman, 2003)	명사, 명사구	수행함: 최소한의 접미사 제거 (복수를단수로)	순차적으로 나타난 개념, 발언의 중심 명사와 연결	질적: 원문과 관련지어 읽기 양적: 상관관계, 공명분석
네트워크 텍스트 분석 (Carley & Palmquist, 1992; Carley, 1997)	출현 빈도가 높은 명사, 짧은 문구; 대명사는 명사	수행함: 자주 나타나는 개념에 대한 동의어 처리	인과 관계, 정의, 방향성을 나타내는 관계, 동치 관계	질적: 원문과 관련지어 읽기 양적: 개념과 문장의 수
의미 네트워크 (Danowski, 1993; Doerfel & Barnett, 1999)	출현 빈도가 높은 개념 (stop word, 전치사, 대명사, 접속사, 동사 등 제외)	수행함: 복수형에 대한 형태소 분석	연구자가 설정한 범위(경계)에서 동시에 출현한 관계	질적: 원문과 관련지어 읽기 양적: 개념과 문장의 수
의미망 (Leydesdorff & Welbers, 2011)	2회 이상 출현한 단어 (stop word 제외)	수행 않음: 표현 그대로를 사용	문서 내에서 공동으로 출현한 관계	질적: 원문과 관련지어 읽기 양적: 상관관계, 요인분석

Note. Hunter(2014)에서 인용 후 수정

국내에서 이루어진 대표적인 연구로는 다양한 정책이해관계자들의 의견(텍스트)을 네트워크로 생성하고 비교 분석함으로써 이해관계자들 간에 공유되고 있는 의미와 차이점을 도출한 연구(박치성, 정지원, 2013) 등 사회과학 분야에서 내용 분석의 방법으로서 개념 관계망 분석 기법이 활발하게 도입되고 있고, 여러 연구 분야에서 각 분야에서 발표되고 있는 논문들의 제목과 키워드에 대한 네트워크 분석을 통해 연구의 동향을 살펴본 연구들이 주를 이루고 있다(김상아, 강정배, 변찬석, 2015; 정승환, 호예담, 송영수, 2014; 정혜영, 정혜영, 손유진, 2015).

▪ 개념 관계망 분석 소프트웨어

Diesner와 Carley(2005)가 텍스트에 대한 네트워크 분석의 중요한 요소로서 ‘컴퓨터의 지원을 받는 솔루션’을 든 것에서도 알 수 있듯이, 대량의 텍스트에 포함된 내용을 분석하여 개념 관계망을 생성하기 위해서는 텍스트에 대한 자연어 처리를 통해 분석 대상으로부터 개념을 추출하고, 개념들의 빈도와 관계에 대한 계산을 위한 컴퓨터 소프트웨어가 요구된다.

이를 위하여 국내에서 이루어져 온 대부분의 텍스트 네트워크 분석 연구들이 Leydesdorff(2007)가 개발한 영어 메시지 분석 프로그램인 FullText를 한국어 처리가 가능하도록 변형한 KrKwic(Park & Leydesdorff, 2004) 프로그램을 사용하고 있다. 하지만 KrKwic 프로그램으로는 개념의 빈도, 개념간의 공출현 빈도만을 계산할 수 있고, 다양한 연구의 목적에 따라 연구자가 추가로 정의하는 지수 등은 계산할 수 없는 한계가 있다. 또 KrKwic은 DOS 모드에서 작동되도록 개발되어 있기 때문에 분석의 수행을 위하여 분석 자료를 매번 TXT 파일로 만들고, 도스 명령을 입력하여 분석을 수행해야 한다. 따라서 분석 대상의 종류가 많고 그 내용을 수시로 다양한 조합에 따라 분석하고 비교해야 하는 연구에 활용하기에는 많은 어려움이 있다. 무엇보다도 KrKwic은 복합 명사와 동의어들 혹은 특정 단어의 파생어들을 자동으로 처리하지 못하므로 연구자에 의한 데이터의 정제과정이 수작업으로 선행되어야 한다는 한계점을 가지고 있었다.

KrKwic 패키지 외에도 파이썬(Python) 스크립트 언어에서 사용되는 추가 패키지인 NetworkX 역시 개념 관계망 분석에 활용되는 대표적인 도구이다. 이는 오픈소스 기반의 네트워크 분석 도구로 사용자가 프로그래밍을 통해 추가로 필요한 분석을 수행 할 수 있다는 강점을 가지고 있다. 하지만 이 역시 기본적인 분석 작업들이 텍스트 명령에 기반 하여 이루어지며, 그 사용 절차가 복잡하고, 대량의 내용을 대상으로 한 개념 관계망 분석에서 키워드 추출을 위해 필수적인 형태소 분석기의 성능이 제한적이라는 한계가 있었다.

3) 과학교육 분야의 개념 관계망 분석 관련 연구

Moody(1996)는 진화론에 대한 사회적 논란이 생물 교과서의 내용에 어떠한 변화를 야기하였는가를 분석하였다. 이 연구는 최근에 이루어지고 있는 네트워크 분석 연구들과는 다소 거리가 있으나, 교과서에 나타난 주요 개념 간의 관계를 구체적이고 조작적으로 나타낼 수 있는 방법과 교과서 전체의 구조를 이루는 개념들 간의 복잡한 관계를 양적으로 분석하여 시각화할 수 있는 아이디어를 제시한 연구이다. Moody는 이 연구에서 교과서의 한 주제가 나머지 부분에 어떤 역할을 하는지는 교과서의 전체 구조와 관련지어 이해되어야 함을 역설하였다.

권혜련, 김정석, 그리고 장남기(2001)는 중학교 생물교과서의 개념구조 분석 연구를 통해 Moody(1996)의 연구 방법을 우리나라의 교과서에 적용하여 6차 교육과정에 따른 중학교 과학 교과서에서 생명 현상이 설명되는 개념구조를 분석하였다. 이 분석을 통해 연구자들은 중학교 교과서의 생물학 지식이 생명 현상의 기능적 측면에 편중되어 있음을 지적하면서, 생물 지식의 종합적 이해를 위해서는 생명 현상의 인과 관계를 진화적 측면과 기능적 측면 모두에서 바라볼 필요가 있음(Mayr, 1982)을 다시 한번 강조하였다.

박별나 등(2010)은 고등학교 과학 및 생물교과서에 나타난 과학 개념의 관계망을 분석하였다. 이를 위해 과목별로 7차 교육과정에 따라 출판된 3종의 교과서에서 추출한 용어들을 노드로, 한 문장 안에 있는 용어들을 링크로 연결하여 네트워크를 구축하였다. 다음으로 구축된 네트워크의 구조적 특징과 및 연관 관계를 분석하기 위해 k-core 알고리즘을 적용하여 핵심개념으로 이루어진 네트워크를 도출하였다. 연구 결과 모든 교과서의 과학 용어 네트워크는 척도 없는(scale-free) 네트워크의 특성을 보여주었으며, 과학 교과서의 경우에는 물리, 화학, 생물, 지구과학 분야별로 크게 네 개의 모듈을 형성하였고, 생물1과 생물2 교과서는 각단원별로 개념들이 모여 모듈을 이루는 특징을 보였다. 그들의 연구는 교과서의 내용을

개념의 네트워크로 나타내고자 시도하였다는 점에서, 네트워크 분석을 통해 핵심 개념을 추출하였다는 점에서, 교과서의 지식을 구성하는 핵심 개념의 추출과 데이터베이스 구축의 필요성을 확인하였다는 점에서 본 연구의 기초가 되는 연구이다. 다만 네트워크를 구성하고 있는 주요 개념들과 그 구조만 제시하였을 뿐, 제시된 핵심 개념과 네트워크를 구성하고 있는 관계의 의미에 대한 해석이 이루어지지 않았다는 점에서 연구의 한계를 지닌다.

또, 박별나 등(2010)의 연구에서 사용된 k-core 알고리즘은 복잡한 네트워크에서 연결정도, 뭉침 계수 등에 따라 가중치가 낮은 것부터 제거해 감으로써 좀 더 분명한 네트워크의 주요 관계를 추출하기 위한 방법이다(Alvarez-Hamelin et al., 2008). 하지만 k-core 알고리즘은 기본적으로 가중치가 없는 네트워크, 즉 관계의 유무에만 근거하여 개념을 필터링하므로 이 방법을 기계적으로 교과서의 텍스트에 적용할 경우 한 문장에 여러 개념이 포함되어 파별을 형성하는 개념들이 선정될 가능성 상대적으로 높아지는 문제가 있다.

윤은정과 박윤배(2014)는 2009 개정 과학과 교육과정과 중학교 과학 교과서에서 사용된 과학 용어(개념)의 연계성을 분석하여 과학교육에서 중요하게 다루어지는 개념들이 교육과정과 교과서에서 얼마나 주의 깊게 제시되고 있는지, 교육과정과 교과서가 잘 연계되어 있는지를 살펴보았다. 그들은 이를 위하여 컴퓨터 프로그램인 과학 용어 분석 프로그램(SWA)(윤은정, 박윤배, 2009)을 개발하여 사용하였고, 연구 결과를 통해 교육과정에서는 중학교 과학 교과서에 사용된 과학 개념의 25%정도만이 언급되며, 교과서에서 사용된 개념 중 약 10%정도의 개념은 교육과정에 언급되기 이전에 교과서에서 먼저 사용되고 있어 교수학습 상황에서 문제를 야기할 가능성이 있음을 지적하고, 이러한 문제점을 줄이기 위해서는 교육과정에서 가르쳐야 할 개념이 보다 구체적으로 제시될 필요가 있음을 역설하였다. 이 연구에서는 교육과정에서 사용되고 있는 과학 용어에 초점을 맞추어 연구가 진행되었으나, 과학 용어를 통해 표상되는 개념들과 그 개념

들의 관계를 통해 구성되는 과학 지식의 의미를 분석하지는 못하였다.

임수민과 김영신(2015)은 언어 네트워크 분석 방법을 사용하여 2009 개정 생명과학 교육과정의 연계성 분석을 수행하였다. 이 연구에서는 교육 과정이 제시하고 있는 생명과학 개념의 연계성을 알아보기 위하여 초·중·고등학교의 학습 내용 성취 기준에 포함된 개념을 추출하여 분석함으로써 생명과학 개념이 학교급별로 생명과학 영역별 어떻게 연계되고 있는지를 알아보았다. 이 연구에서는 교육과정에 포함된 개념들을 학교급, 생물학 영역과 연결하는 2-모드 네트워크로 구성하고 분석을 수행하였고 학교급에 따라 혹은 생물학 영역에 따라 공유되는 개념들을 연계된 개념으로 판단하였다. 하지만 이 방법은 개념 간 관계를 통해 중요 개념과 개념들이 형성하는 군집을 파악하는 데 유용한 네트워크 분석의 장점을 실질적으로 활용하지 못하고 빈도 분석에 기반 한 내용 연구에 그친 방법적 한계를 나타내고 있었다. 또한 교육과정에만 기초하여 분석을 하였기 때문에 분석에 한계가 있어 실제 학교 현장에서 이용되는 교과서를 함께 분석할 필요성이 제기되었다.

임수민(2014)은 학생들이 세포분열에 대한 문제 해결 과정에서 발생적 사고를 통해 언어적으로 표현한 내용에 대하여 네트워크 분석을 수행하였다. 이를 통해 세포 분열과 관련하여 학생들이 가지고 있는 인지 구조를 개념과 개념 사이의 연결로 가시화하고 이를 분석하여 학생들이 세포 분열에 대해 가지고 있는 오류를 알아보고 유형화하였다. 이 연구에서는 학생들의 응답 내용을 개념 관계망으로 생성하고 분석하기 위하여 KrKwic, KrTitle 프로그램(Park & Leydesdorff, 2004)을 사용하여 개념 간 공출현 매트릭스를 생성하고, 이를 네트워크 분석 프로그램인 Ucinet 6.0과 시각화 도구인 NetDraw를 사용하여 분석하였다.

지구과학 분야에서는 교육과정 목표와 교과서 학습 목표와의 일치성을 분석한 연구도 이루어졌다(정덕호 등, 2013). 이 연구에서는 2009 개정 과학과 교육과정의 지구과학 I의 목표와 교과서의 학습 목표와의 일치성을 알아보았다. 이를 위하여 교육과정의 목표와 교과서의 학습 목표를 연구자

가 설정한 프레임에 따라 코딩한 후 언어네트워크분석을 이용하여 분석하였다. 이 연구에서는 학습 목표에 포함된 개념 자체를 개념 관계망의 노드로 설정하지 않고, 연구자가 설정한 프레임과 하위 범주에 따라 코딩한 범주들의 네트워크를 분석하였다. 이러한 접근은 관계망 분석 방법 통해 교육과정과 교과서 사이의 일치성을 객관적인 방법으로 분석하고자 시도하였다는 점에서, 그리고 개념 관계망 분석을 통한 내용 분석 방법이 확장 가능성을 보여 준다는 면에서 큰 의미가 있다. 다만 이 분석에서 사용한 분석 방법은 학습 목표에 포함된 개념들 간의 관계를 분석한 것이 아니므로 교과서의 내용에서 실제로 다루어지는 내용에 대한 분석이 아니라는 점과 분석을 위하여 연구자가 분석 내용에 대한 개별적인 코딩을 수행해야 한다는 점, 그리고 각 코딩에 대한 신뢰성이 다시 검토되어야 한다는 점에서 교육과정 전체 교과서의 내용과 같은 방대한 내용을 분석하는 연구에는 적용하기 어려운 연구 방법이다. 이 분석에서는 네트워크 분석 도구로 KrKwic 과 Ucinet 6.0, 시각화 도구는 NetDraw를 사용하였다.

Tseng et al.(2010)은 미디어에 나타난 타이완 시민의 과학적 소양 (scientific literacy in media, SLiM)의 측정을 위한 연구에서 신문 기사의 내용으로부터 개념 관계망을 생성하고 분석하는 방법을 사용하였다. 그들은 2년 동안 발행된 901,446 건의 뉴스기사에서 키워드를 추출하고, 추출된 키워드들 중에서 과학 교과서의 개념과 매칭되는 95개의 과학적 개념을 선정하였다. 그리고 그 개념들 사이의 공출현 관계를 시각화 한 개념 관계망을 바탕으로 과학적 소양의 측정을 위한 검사 도구를 개발하였다. 개발자들은 일간지에 포함되고 있는 과학지식과 관련되는 50개의 검사 문항을 도출할 수 있었고, Rundgren et al. (2012)은 개발된 검사 도구를 활용하여 시민들의 과학적 소양을 측정하는 연구를 수행하였다. Tseng et al.은 그들의 연구에서 개념 사이의 근접도와 의미적 유사도를 계산하는 다양한 방법을 검토하고, 주요 관계를 필터링할 그들만의 지수를 개발하여 사용하였고, 연구를 통해 생성된 개념 관계망이 내용의 분류, 평가 문항의 개발 과정 등에서 전문가들의 검토와 논의를 위한 유용한 도구로

활용될 수 있음을 보여주었다.

최설매 등(2010)은 융합형 과학을 표방한 2009 개정 교육과정의 고등학교 과학 교과서에 교육과정 개정의 취지가 잘 반영되었는지를 알아보기 위하여 기존의 7차 교육과정에 따른 모듈형 공통과학 교과서와 2009 개정 교육과정의 고등학교 과학 교과서에 대한 개념 관계망을 생성하고 그 네트워크 특성을 비교하였다. 두 교과서에 대한 이산 네트워크(binary network) 분석을 통하여 두 가지 공통과학 교과서는 모두 복잡계 네트워크 특성과 계층적 집단구조를 가지지만 융합형 공통과학 교과서의 노드의 평균 연결정도는 모듈형 공통과학 교과서보다 더 크고 노드 사이의 평균 거리가 더 짧음을 보였다. 한편 두 개념이 같은 문장에 나타나는 횟수를 가중치로 하여 구축한 가중치 네트워크(weighted network)를 기반으로 주요 개념 관계망 분석에서는 모듈형 공통과학 교과서에서는 다중 핵이 선형으로 이어지는 특성을 가지고 있으나 융합형 공통과학 교과서에서는 단일의 중심 핵 주위로 네트워크가 동심원 형태로 뻗어 나가는 특성을 보이는 것을 밝혔다. 연구자들은 이러한 정량적, 정성적 분석을 통해 2009 개정 교육과정의 고등학교 과학 교과서에서는 ‘우주와 생명’, ‘과학과 문명’이라는 대주제 안에서 여러 영역의 개념을 통합적으로 제시하고자 한 취지가 어느 정도 실현되고 있음을 보였다.

김동렬(2013)은 예비교사들이 과학의 의미를 어떻게 인식하고 있는지 알아보기 위해 의미 네트워크 분석법을 활용한 연구를 수행하였다. 이 연구에서는 개방형 검사지를 통해 초등 예비 교사들로부터 수집한 응답을 모두 텍스트로 변환하고 그 내용에 대한 개념 관계망을 생성하여 NetMiner 4.0 프로그램을 이용하여 분석하였다. 소프트웨어를 사용하여 개념의 빈도와 밀도 그리고 키워드 간의 연결중심성 분석, 동심원 분석, 클릭분석, 공통 네트워크 분석 등 다양한 네트워크 분석이 이루어졌고, 이를 통해 양적 분석과 시각화 결과로부터 예비교사들이 과학에 대하여 가진 인식을 탐색하였다.

앞서 고찰한 연구 이외에도 과학 지식에 대한 과학 영재들의 인식을 분석한 연구(이준기, 하민수, 2012), 영재성에 대한 교사들의 인식을 분석한 연구(정덕호, 김영미, 이준기, 박선옥, 2014), 야외조사학습 후의 학생들의 개념 구조의 변화를 분석한 연구(박경진, 정덕호, 조규성, 2013) 등 최근 과학교육 분야에서는 다양한 연구문제의 해결에 개념 관계망(언어 네트워크) 분석 방법이 도입되고 있다.

이처럼 최근 과학교육 연구에서 개념 관계망 분석 방법을 활용한 다양한 시도가 이루어지고 있음에도 불구하고 개념 관계망 분석을 통한 과학교육의 연구는 아직 초기단계에 있다. 현행 교육 과정 교과서의 내용 전체를 분석 대상으로 하여 그 내용에 포함된 개념들의 체계와 연계성을 종합적으로 분석한 연구는 없었고, 특히 초·중·고등학교 전 과정의 내용에 대한 분석을 통해 현행 과학과 교육과정 생명 영역의 내용 전체를 아우르는 핵심 주제와 주요 개념의 체계를 큰 틀에서 조망하고 이를 직관적으로 시각화하여 제시한 연구는 없었다. 또 학생들이 교육과정을 통해 생물 내용을 학습할 때 어떤 내용을 어떤 순서로 배우게 되는지, 각 학교급 교과서에서 생물학의 핵심 주제들이 어떻게 수평적으로 그리고 수직적으로 연계되어 다루어지고 있는지를 교과서의 내용을 실증적으로 분석하여 알아본 연구도 이루어지지 못하고 있었다. 이는 교육과정이 수시로 개정되고 있는 상황에서 교과서 전체의 내용을 짧은 기간에 효과적이고 효율적으로 분석할 수 있는 분석 방법과 이에 적합한 도구가 없었기 때문으로 사료된다.

Ⅲ. 연구 방법

본 연구는 교과서의 내용을 자연어로 구성된 일종의 데이터로 보고 텍스트 마이닝 기법과 개념 관계망 분석방법을 활용하여 분석한 연구이다. 본 연구에서 현행 2009 개정 과학과 교육과정 교과서 생명 영역의 내용을 분석한 연구의 방법은 다음과 같다.

1. 연구 절차

일반적으로 교과서를 구성하는 보편적인 요소는 문자 언어이므로, 교과서의 내용 타당성이나 학습 효율성을 결정하는 것은 문자로 기술된 부분이라고 할 수 있다(이성영, 2011). 따라서 본 연구에서는 교과서의 문자로 기술된 모든 텍스트를 분석의 대상으로 정하고, 이에 대한 내용 분석과 개념 관계망 분석을 수행하였다.

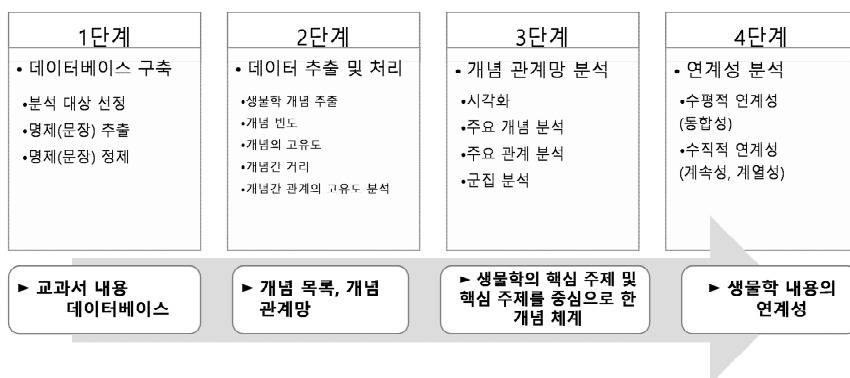
개념 관계망을 이용한 내용 분석 연구의 과정은 먼저 텍스트 마이닝을 통해 분석 대상에 포함되어 있는 자연어 형태의 텍스트를 수집하고, 다음으로 수집된 텍스트를 컴퓨터가 기계적으로 분석할 수 있도록 데이터를 전처리(pre-processing) 하는 과정을 거치게 된다. 그리고 전처리 과정을 통해 추출된 키워드들 중에서 개념 관계망에 포함될 노드(node)인 개념들을 선정하고, 그 개념들 사이의 관계(edge)를 네트워크(network, 관계망)로 생성하게 된다.

본 연구에서는 교과서 내용을 개념 관계망으로 생성하기 위하여 전체 텍스트로부터 형태소 분석을 통해 모든 키워드를 추출하였고, 추출된 키워드들의 빈도와 생물학에서의 의미를 고려하여 연구자가 개념을 1차적으로 선정하였다. 이때 연구자의 주관적 판단에 의한 영향을 최소화하고 교과서의 내용이 최대한 반영될 수 있도록 1차 선정 개념에는 가능한 많은 개념이 포함되도록 하였다. 그리고 하나의 명제(문장)를 경계로 하여 분석 단위에서 동시 출현한 개념들을 연결하여 개념 관계망을 생성하고 해석하였

다(Danowski, 1993; Doerfel & Barnett, 1999; Leydesdorff & Welbers, 2011).

이러한 과정을 통해 현행 과학과 교육과정의 생물 내용을 한 눈에 보여 줄 생물학 개념의 개념 관계망(semantic network)을 생성하였고, 생성된 주요 생명과학 개념 관계망에 대한 네트워크 분석을 통해 교육과정과 교과서의 내용 구성 및 체계에 대한 시사점을 얻고자 하였다. 본 연구의 절차는 다음과 같고, <그림 III-1>과 같이 요약될 수 있다.

1단계는 데이터베이스 구축의 단계이다. 이 단계에서는 분석대상 교과서의 생명 영역 관련 단원의 내용을 코퍼스 형태의 데이터로 구축하게 된다. 이를 위해 2009 개정 교육과정 따라 출판된 초·중·고등학교 과학 교과서의 생명 영역 관련 단원과 고등학교 생명과학 I·II 교과서에서 문자로 기술된 내용들은 모두 추출하여 코퍼스 자료로 구축하였다. 이 코퍼스에는 추출된 명제(문장)의 원문과 이 후 분석 과정에서 중의적으로 해석될 수 있는 문장의 정제 결과 등이 포함되며, 데이터베이스에는 이 후 분석 단계에서 생성되는 형태소 분석 및 키워드 추출 결과, 개념의 빈도와 개념 간 관계 분석의 결과 등이 저장될 수 있도록 하였다.



<그림 III-1> 연구의 절차

2단계는 데이터 전처리의 단계로, 교과서의 내용에 대한 개념 관계망 분석을 위한 기초 작업이라 할 수 있다. 교과서에서 추출된 생명과학 교육 과정의 내용을 문장 단위로 나누고, 다시 각 문장에서 생물학 지식을 구성하는 개념을 추출하기 위하여 형태소 분석을 통해 키워드를 추출하였다. 다음으로 추출된 키워드들을 선별하여 생물학 관련 개념을 선정하였고, 내용 분석을 위하여 그 빈도와 고유도, 개념들 사이의 관계의 강도(weight)와 근접도(proximity)를 분석하였다. 이 때 개념 간의 관계의 강도는 두 개념이 한 문장에 같이 쓰인 정도로, 이 분석 데이터를 바탕으로 개념 간 관계의 근접 행렬을 계산하고, 가중된 네트워크를 생성하고 분석하였다. 문장별로 추출된 개념들의 집합에서 특정 개념들이 동시에 출현하는 빈도와 근접도가 높다는 것은 해당 개념이 같은 주제 연관될 가능성이 높고 서로 관계가 밀접하다는 것을 의미한다.

본 연구에서는 문장의 형태소 분석과 개념 추출을 위하여 강승식(2012)의 한국어 형태소 분석 라이브러리(KLT)에 기반한 '개념관계분석 프로그램(Concept Relation Analyzer)'를 개발하여 사용하였다.

3단계는 2단계에서 추출한 개념들이 형성하는 네트워크, 즉 의미망을 분석하는 단계이다. 이 단계에서는 추출된 개념별로 그 개념이 네트워크의 의미형성에서 가지는 중요도와 역할을 알아보기 위하여 개념의 빈도와 중심성(연결정도, 사이중심성) 분석을 수행하였다. 다음으로 개념들이 함께 출현하는 빈도(weight)와 각 개념 사이의 근접도(proximity)에 대한 분석을 통해 주요 개념들 사이에 어떤 관계가 형성되고 있는지 분석하였다. 이러한 분석을 통해 도출된 주요 개념과 관계를 중심으로 의미망에 대한 군집 분석을 수행하고 이를 관계망으로 시각화하였다. 이를 통해 생명과학 교과서에서 많은 개념들과 긴밀한 관련을 맺고 있는 핵심 개념이 무엇인지를 알아보았다. 그리고 핵심 개념을 중심으로 형성되는 개념의 군집들이 나타내는 생물학의 핵심 주제와 그 주제들이 이루는 생물학 지식의 체계 대해 생물 교육의 관점에서 분석하였다. 개념 관계망에 대한 네트워크 분

석과 시각화를 위해서는 Gephi v0.9.1(Bastian, Heymann, & Jacomy, 2009)를 사용하였다.

4단계는 연계성 분석 단계이다. 앞선 단계의 연구에 의해 구축된 생명 과학 영역의 주요 개념 관계망에 대하여 학교급에 따라 네트워크가 어떻게 변화하고 발달하는지 알아보는 연계성 분석을 수행하였다. 먼저 초·중·고 학교급의 교과서에 대한 군집 분석을 통해 나타난 생물학의 핵심 주제들 사이의 수평적 연계성, 즉 내용의 통합성을 알아보았다. 이를 위해 각 개념군을 대표하는 핵심 개념과 전역적 중심성을 나타내는 개념들을 중심으로 형성된 주요 관계를 분석하고 해석하였다. 다음으로 생물학의 핵심 주제에 대한 내용이 학년이 올라감에 따라 어떻게 심화되고 있는지에 대한 수직적 연계성을 알아보기 위하여 각 주제 별로 학교급별 교과서에 따른 학습량의 변화에 대한 양적 분석과 함께 그 내용의 심화 정도를 송순희 등(1991)의 분석 준거에 따라 계속성과 계열성의 관점에서 정성적으로 분석하였다.

그리고 이러한 일련의 연구 과정을 통해 얻어진 결과를 바탕으로 과학 과 생명 영역의 내용 구성 및 체계에 대한 교육적 시사점을 도출하고자 하였고, 연구 결과의 교육적 활용 방안을 논의 하였다.

2. 분석 대상 교과서

현행 교육과정에서 학생들에게 과학과 생명 영역의 지식은 어떻게 제시되고 있는지, 즉 교육과정의 생물학 내용을 구성하는 핵심 주제와 개념들은 무엇이고, 그 개념들이 서로 어떻게 연결되어 의미의 네트워크를 생성하고 있는지를 알아보기 위하여 본 연구에서는 교과서의 내용을 분석 자료로 삼아 연구를 수행하였다. 이를 위하여 2009 개정 과학과 교육과정에 따라 발행된 교과서를 학교급별로 1종씩 선정하여 생명과학 영역의 내용을 분석하였고 분석 대상 교과서는 <표 III-1>과 같다.

<표 III-1> 분석 대상 2009 개정 과학과 교육과정 교과서

학교급	교과서	출판사	저자
초등학교	3-4학년군 과학 ①,②,③,④	(주)미래엔	교육부
	5-6학년군 과학 ①,②,③,④		
중학교	과학 1,2,3	비상교육	임태훈 외
고등학교	과학	교학사	정완호 외
	생명과학 I	비상교육	심규철 외
	생명과학 II	비상교육	심규철 외

초등학교 교과서의 경우 국정교과서 1종만 발행되고 있지만 검인정체제인 중학교, 고등학교 교과서의 경우 출판사와 집필진에 따라 그 내용의 구성과 제시 방법이 다를 수 있을 것이다. 그러나 7차 교육과정의 고등학교 과학 및 생물교과서의 과학용어 네트워크를 분석한 박별나 등(2010)의 연구결과에서 3종의 교과서를 분석한 결과가 비슷한 네트워크 특성과 연구 결과를 나타내었으므로, 본 연구에서는 중학교, 고등학교 교과서의 경우 검인정 교과서 중 채택률이 높다고 알려진 교과서 각 1종만을 선정하여 분석 대상으로 정하였다.

분석 대상 교과서 중 초등학교 과학 교과서 8권과 중학교 과학 교과서

3권의 경우 생명과학 영역의 단원에서 교육과정에서 제시된 단원명을 그대로 사용하였기 때문에 해당 단원을 분석 대상으로 하였다. 고등학교 과학 교과서의 경우 교육과정에서 생명과학 내용으로 제시한 '생명의 진화' 대단원 외에도 생명과학 영역과 관련이 깊은 '인류의 건강과 과학 기술' 단원과 '에너지와 환경' 단원의 일부 내용을 분석 대상에 포함하였고, 생명과학 I 과 생명과학 II 교과서는 교과서의 전 단원을 분석대상으로 하였다.

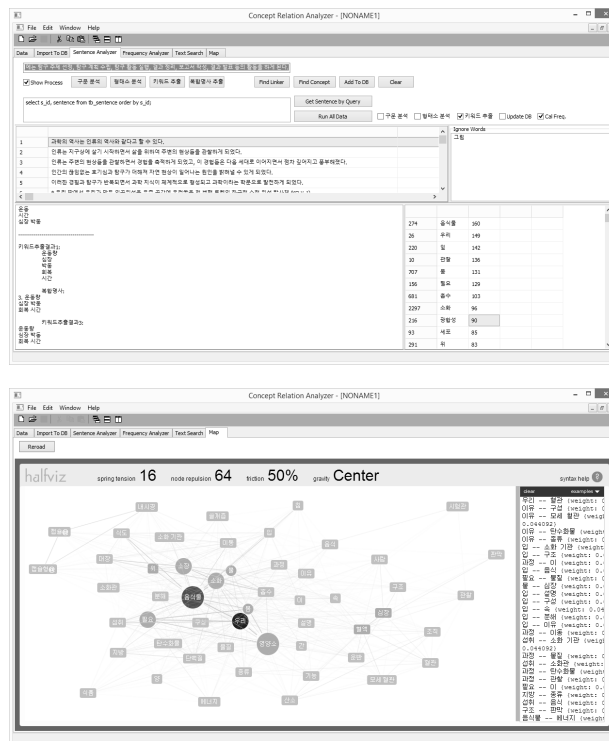
3. 분석 도구

1) 개념 관계망 분석 프로그램

대량의 텍스트에 포함된 내용을 분석하여 개념 관계망을 생성하기 위해서는 텍스트에 대한 자연어 처리를 통해 분석 대상으로부터 개념을 추출하고, 개념들의 빈도와 관계에 대한 계산을 위한 컴퓨터 소프트웨어가 요구된다. 이를 위하여 기존에 개발되어 사용되고 있는 텍스트 네트워크 분석 도구인 KrKwic(Park & Leydesdorff, 2004), NetworkX Python 패키지 등의 활용 가능성을 검토한 결과 본 연구에서 연구의 목적에 따라 정의한 고유도나 개념 간 근접도(proximity) 지수 등을 계산해 낼 수 없는 한계와 복합 명사와 동의어 처리 등에서 한계점이 확인되었다. 따라서 본 연구의 수행을 위해서는 연구의 목적에 맞도록 교과서의 문장을 개념 관계망으로 생성하고, 분석 지수들을 계산할 수 있는 분석 소프트웨어의 개발이 선행되어야만 했다.

교과서의 내용을 분석하기 위해서는 먼저 각 문장에 포함된 개념을 추출한 후 추출된 개념들의 빈도와 그 관계에 대한 지수들을 계산하여야 한다. 따라서 이를 위하여 문장으로부터 키워드를 추출하고, 추출된 키워드를 정제하여 개념 목록을 만든 후 그 빈도와 관련 지수들을 계산할 수 있는 소프트웨어인 개념관계분석 프로그램(Concept Relation Analyzer, CRA)을 개발하여 사용하였다(그림 III-2).

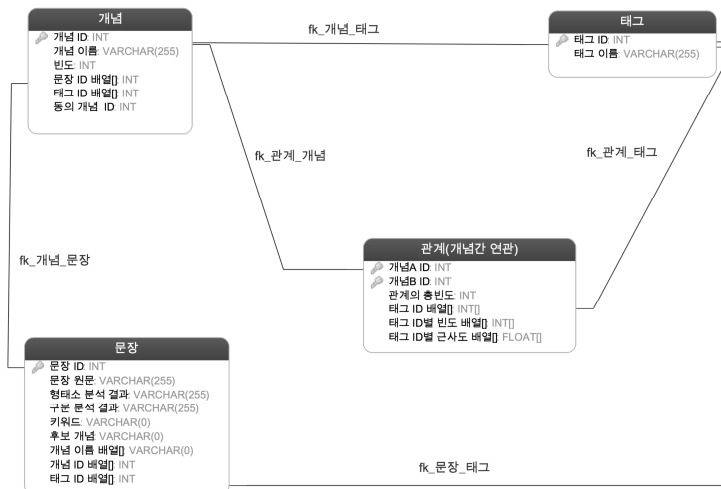
개발된 프로그램이 문장으로부터 개념을 추출하는 기능을 구현하기 위해 자연어 처리를 통한 형태소 분석과 키워드 추출 라이브러리인 KLT2000 (강승식, 2012)를 이용하였다. 프로그램의 개발에 사용된 프로그래밍 언어는 C++이며, 개발 도구로 Embarcadero C++ Builder XE2를 사용하였다. 개발된 프로그램은 윈도우의 GUI 환경에서 작동하며, 생물 교과서의 문장 데이터베이스와 연동된다. 이 프로그램은 분석 대상 내용의 원문을 데이터베이스에 저장 및 관리하는 기능, 문장으로부터 키워드를 추출하고 개념 목록을 관리하는 기능, 개념의 빈도와 관계를 계산하여 개념 관계망 데이터를 생성 하고 탐색하는 기능을 제공한다.



〈그림 III-2〉 개념 관계망 분석 S/W (Concept Relation Analyzer)

2) 생물학 지식(교과서 문장)의 개념 관계망 데이터베이스

개발된 개념관계분석 프로그램과 연동될 수 있도록 교과서로부터 추출된 문장(명제) 전체와 그에 대한 분석 결과를 데이터베이스로 구축하였다. 데이터베이스의 구축과 운용을 위하여 본 연구에서 요구된 배열(array)의 저장 및 검색 기능을 제공하는 Postgres SQL 서버를 RDBMS 소프트웨어로 채택하였다. 데이터베이스는 교과서 문장의 원문, 형태소 분석 및 개념 추출 결과, 각 문장에 포함된 개념의 목록과 빈도, 개념 간 관계의 분석 결과 등을 효율적으로 저장하고 검색 할 수 있도록 설계하였다(그림 III-3). 분석 대상 내용의 원문과 그 분석 결과를 개별의 파일이 아닌 데이터베이스에 저장함으로써 분석 결과에 대한 원격에서의 접근과 실시간 업데이트가 가능해지고, 정적인 내용의 분석뿐만 아니라 동적 데이터에 대한 실시간 분석도 가능해진다. 이러한 가능성은 향후 본 연구에서 얻어진 개념 관계망, 주요 개념 목록 등의 결과물을 웹서비스 등의 형태로 교사와 학생 및 연구자들에게 실시간으로 제공하고 활용할 수 있게 함으로써 교수·학습 자료와 연구의 도구로 활용될 수 있는 다양한 가능성을 열어준다.



〈그림 III-3〉 생물 개념 관계망 데이터베이스의 ERD

4. 분석 방법

본 연구에서는 텍스트 마이닝을 통한 내용 분석과 네트워크 분석을 연계하는 개념 관계망 분석방법을 사용하였다. 먼저 개발된 CRA 프로그램의 키워드 추출 및 빈도 분석 기능을 활용한 내용 분석을 통해 교과서의 문장에서 출현 빈도가 높은 키워드들에서 생물학 개념을 추출하였다. 다음으로 추출된 생물학 개념들의 공출현 행렬 자료를 만든 후, 이를 네트워크로 시각화 하고, 네트워크 분석을 통해 교과서에 나타난 핵심 개념과 그들 사이의 관계를 통해 드러나는 특징과 의미를 파악하고자 하였다. 이 연구에서 수행한 구체적인 분석 방법은 다음과 같다.

1) 내용 분석

분석 대상으로 정한 과학 교과서의 생명과학 관련 단원과 고등학교 생명과학 I·II 교과서를 대상으로 내용 분석을 실시하였다. 내용 분석을 위해서는 먼저 분석의 단위를 결정하게 되는데, 분석의 단위는 문서 전체, 핵심 단어가 포함된 문단과 단락, 문장 수준 등 연구의 목적에 따라 연구자가 판단하여 결정하는 것이 일반적이다(박치성, 정지원, 2013).

교육과정에 대한 내용 분석을 수행한 선행 연구들에서는 학습목표나 교육과정의 성취 기준만을 분석 범위와 단위로 하여 분석이 이루어져 왔으나(김성연 등, 2015; 임수민, 김영신, 2015), 본 연구에서는 교과서에 포함된 생물 지식의 체계를 최대한 반영하는 관계망을 생성하기 위하여 분석의 범위를 교과서 전체로 하고, 분석의 단위는 문장(명제)으로 하였다. 먼저 분석 내용에서 키워드 추출을 통해 생물학 지식을 구성하는 개념들을 선정하였고, 이때 생물학 개념이 아닌 개념으로 인해 분석 결과가 영향 받지 않도록 하기 위하여 내용 분석 과정에서 추출된 키워드 중 생물학 개념을 선정하는 과정을 반복적으로 수행하여 생물학 개념이 아닌 일반적 개념으로 인한 영향을 최대한 배제하였다.

2) 주요 개념의 선정 방법

분석 대상 교과서에서 추출하여 정제화 작업을 수행한 생명과학 영역의 문장들을 개발된 개념관계분석 프로그램(Concept Relation Analyzer)에 입력하여 교과서 전체에서 생물학 지식의 구성에 사용된 개념 총 5,073개를 먼저 추출하였다. 일반적으로 개념의 선정은 연구 문제에 부합하는 단어를 연구자가 임의로 정하기도 하고, 일정 기준 이상의 빈도를 나타내는 단어를 발췌하여 정하기도 한다. 본 연구에서는 탐색적 연구의 목적에 맞게 탐색적 접근법(Carley, 1997; Carley & Palmquist, 1992)에 따라 노드(개념)를 설정 하였고, 가능한 연구자의 주관을 배제 할 수 있도록 교과서에서 나타난 개념들을 최대한 포함하여 노드를 설정한 후 필요에 따라 빈도 등으로 노드의 범위를 줄여가는 가는 방법을 사용하였다.

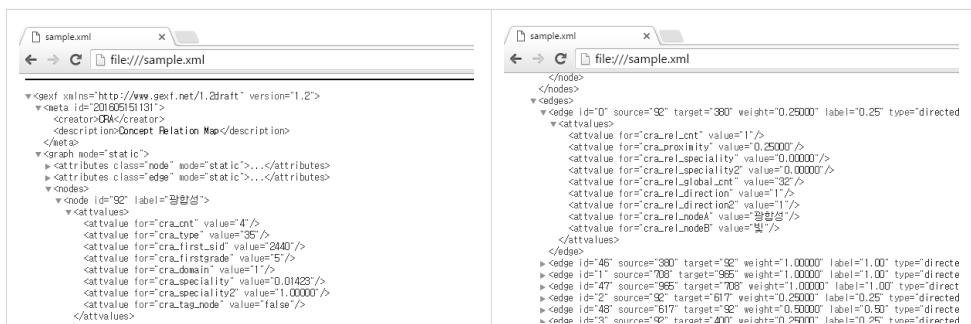
개념 관계망 분석 방법에서는 분석 대상 텍스트의 범위를 어떻게 설정 하느냐에 따라 해당 텍스트에서 의미를 구성하는 개념들의 지위와 역할이 달라질 수 있다. 본 연구를 위하여 생물학 지식을 구성하는 주요 개념을 선정할 때도 이 점이 주요 개념을 선별리 확정할 수 없게 하였다. 단순히 교육과정 전체 텍스트를 범위로 하여서 빈도가 높거나, 중심성이 높은 개념을 주요 개념으로 선정하거나, k-core 알고리즘 등을 기계적으로 적용해서는 상급 학년으로 가면서 새로이 추가되어 전체적인 의미 형성과 분화된 지식을 나타내는 개념들이 주요 개념으로 추출되지 않는 문제점이 확인 되었다. 또 박별나 등(2010)의 연구에서 주요 노드의 선정에 사용한 k-core 알고리즘의 경우 가중치가 없는 네트워크(binary network)의 필터링에 사용되는 알고리즘으로 관계의 강도는 고려하지 않고 관계의 유무만으로 주요 개념을 필터링한다. 따라서 k-core 알고리즘을 본 연구에서 연결선에 가중치를 부여하여 생성한(weighted network) 개념 관계망에 사용하기에는 적합하지 않았다.

따라서 본 연구에서는 의미망 분석을 위한 생물학 주요 개념을 추출하기 위하여 전체 교육과정의 텍스트를 하나의 범위로 하여 분석한 결과만으

로 주요 개념을 선정하는 대신에 학교급별, 영역별로 분석 범위를 나누어 분석하고 각각에 대한 네트워크 분석 후 각 관계망에 포함된 개념 중 빈도, 연결정도, 사이중심성이 상위 3%에 해당하는 개념을 추출하여 최종적으로 주요 개념을 확정하는 전략을 취하였다. 이때 상위 3%의 기준은 연구자가 선정 기준을 100%, 상위 20%, 상위 10%, 상위 3% 등으로 줄여 가며 분석한 결과가 동일한 양상을 나타내었기 때문에 분석의 효율성을 위하여 상위 3%의 기준을 사용하였다.

3) 개념 관계망의 생성

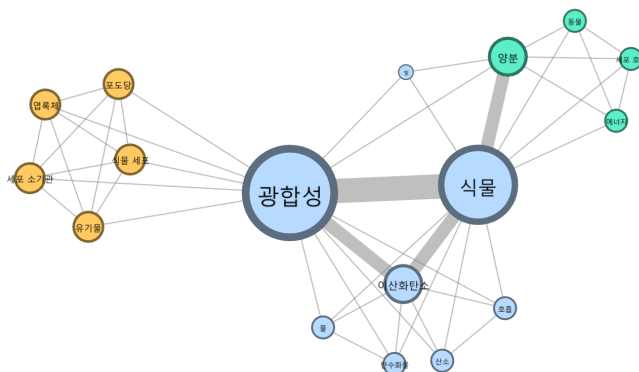
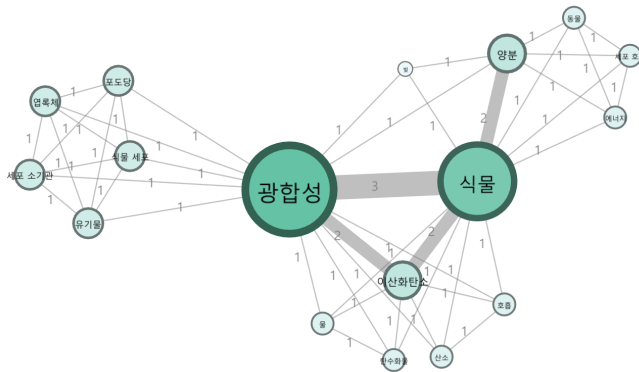
최종 선정된 주요 개념들만을 노드로 하고, 개념관계분석 프로그램을 사용하여 분석 대상에서 주요 개념이 분석 단위인 한 문장(명제)에서 함께 쓰이는 빈도를 계산하고 개념×개념의 일원(1-mode) 행렬을 생성하였다. 다음으로 개념들의 공출현(co-occurrence) 행렬 외에 추가로 각 개념이 지니는 추가적인 속성(고유도, 출현 학교급, 출현 영역 등)을 포함한 그래프 데이터를 XML 형식의 GEXF 그래프 데이터(그림 III-4) 파일로 생성하였다. 이 데이터는 <그림 III-5>와 같이 Gephi v0.9.1 프로그램을 이용하여 군집 분석 등의 추가적인 네트워크 분석과 시각화가 가능하다. 또 Gephi의 경우 그래프 데이터를 파일뿐만 아니라 구축된 개념 관계망 데이터베이스에서 직접 입력 받을 수 있기 때문에 실시간으로 다양한 조합의 분석이 용이하게 이루어질 수 있다.



<그림 III-4> Concept Relation Analyzer를 통해 생성된 GEXF 그래프 데이터

- 식물이 빛을 이용하여 **양분**을 스스로 만드는 과정을 **광합성**이라고 한다.
- **엽록체** : 식물 세포에만 있는 **세포 소기관**으로, **광합성**이 일어나 **포도당**과 같은 **유기물**을 합성한다.
- **탄수화물**은 주로 **이산화탄소**와 **물**로부터 **식물**의 **광합성**에 의해 만들어진다.
- 식물이 **호흡**할 때는 **광합성**할 때와 반대로 **산소**를 흡수하고 **이산화 탄소**를 방출한다.
- 식물과 동물은 **세포 호흡**을 통해 **양분**을 분해하여 **양분** 속에 저장되어 있는 **에너지**를 얻는다.

CRA • 문장 분석 • 개념 추출 • 개념 관계 분석 • 관계망 데이터 생성	개념	빈도	연결정도	사이 중심성	고유도	...	개념 간 관계			연결의 빈도	연결의 고유도
	광합성	4	13	0.51	0.014		광합성 - 식물	3	0.42		
	식물	4	11	0.27	0.007		식물 - 이산화탄소	2	0.41		
	양분	2	6	0.09	0.012		광합성 - 이산화탄소	2	0.31		
	이산화탄소	2	6	0.01	0.008		식물 - 양분	2	0.28		
	식물 세포	1	5	0.00	0.009		이산화탄소 - 호흡	1	0.64		
	엽록체	1	5	0.00	0.008		산소 - 호흡	1	0.61		
	유기물	1	5	0.00	0.007		식물 - 호흡	1	0.58		
		
		



Gephi

- 네트워크 분석
- 관계망 시각화

<그림 III-5> Concept Relation Analyzer와 Gephi를 이용한 개념 관계망의 시각화

4) 개념 관계망 분석

개념 관계망의 분석을 위하여 개념관계분석 프로그램을 통해 생성된 관계망 데이터를 Gephi 0.9.1 프로그램(Bastian, Heymann, & Jacomy, 2009)을 이용하여 시각화하고(그림 III-4), 관계망의 구조적 특징을 파악하기 위하여 네트워크의 기본 정보, 중심성 지표, 그리고 군집 분석을 통한 하위 네트워크 분석 결과를 얻었다. 네트워크의 기본 정보로는 네트워크의 노드(개념) 수, 연결의 수, 밀도(density), 지름(diameter)을 구하였고, 개념의 중심성을 나타내는 지표로는 연결정도와 사이중심성을 구하였다. 시각화된 개념 관계망에서 결점의 크기는 개념 별 연결정도, 그리고 연결선의 굵기는 개념들이 동시에 출현한 빈도(weight)에 비례하도록 표시하였다. 본 연구에서 개념 관계망의 분석을 위해 사용한 분석 지표와 지표가 나타내는 의미는 다음과 같다.

▪ 개념의 수와 연결의 수

개념 관계망에 포함된 개념(노드)의 수는 해당 내용에 포함된 개념의 다양성을 나타낸다. 예를 들어 <그림 III-5>의 개념 관계망에는 17개의 개념이 포함되고 있다. 본 연구에서는 개념의 수가 학생들이 학습해야 할 학습량을 나타내는 지표로 보았고, 학교급에 따른 학습량의 증가를 알아보기 위해 상급 학교에서 처음으로 다루어지는 개념의 수인 '신규 학습 개념 수'의 증감을 조사하였다. 연결의 수는 관계망에 포함된 개념들 사이에 형성된 관계의 수를 나타내며 한 관계망은 최대 개념 수 x (개념 수-1) 개의 연결을 가질 수 있다.

▪ 네트워크의 밀도

밀도(density)는 네트워크에서 노드 간의 전반적인 연결정도를 나타내는 지표로, 연결 가능한 모든 관계에서 실제로 맺어진 관계 수의 비율로 정의된다. 따라서 개념 관계망의 밀도는 개념들 사이의 관계가 얼마나 복잡하게 얽혀 있는지를 나타낸다. 밀도가 낮은 개념 관계망은 개념들 사이

의 관계가 복잡하지 않으므로 내용이 분산된 정도가 크다고 볼 수 있고, 반대로 밀도가 높아 촘촘한 관계망은 특정 주제에 집중된 개념들이 서로서로 밀착되어 있다고 해석할 수 있을 것이다. 단, 밀도는 관계망에 포함된 개념의 수에 영향을 받게 되기 때문에 관계망의 밀도를 비교할 때에는 관계망의 규모 차이로 인한 효과인지를 고려하여 그 차이를 해석할 필요가 있다.

$$D = \frac{2E}{n(n-1)} = \frac{\sum_{k=1}^n g_k}{n(n-1)}$$

E: 네트워크의 총 연결의 수
 g_k : k에서의 연결 정도

▪ 네트워크의 지름

네트워크의 지름(diameter)은 네트워크 내에 임의의 두 노드간의 최단 경로 거리 중 가장 긴 거리를 나타내는데, 일반적으로 네트워크의 밀도가 높으면 지름은 작아지는 경향이 있다.

▪ 개념의 연결정도

개념 관계망은 개념과 개념들 사이의 연결선으로 이루어진다. 이때 관계망에서 각 개념이 몇 개의 개념과 연결되고 있는가를 나타내는 절대적인 지표가 연결정도이다. 연결정도가 높은 개념은 특정 주제를 이끄는 주요 개념으로 볼 수 있다. 각 노드의 연결정도를 0과 1사이의 값으로 표준화한 값을 연결정도 중심성이라고 한다. 본 연구에서는 각 개념이 몇 개의 개념들과 연결되고 있는지 그 절대적인 크기를 파악하기 위하여 연결중심성 대신 연결정도를 분석 지수로 사용하였고, 개념 관계망의 시각화에서 노드의 크기를 연결정도에 비례하도록 시각화 하였다. 그리고 평균 연결정도는 한 네트워크에 포함된 모든 노드의 연결정도를 합한 후 이를 노드의 수로 나눈 평균값으로 한 개념이 평균적으로 몇 개의 개념과 연결되는지를 나타내는 지수이다.

▪ 개념의 사이중심성

사이중심성은 한 개념이 다른 개념들 사이의 연결을 중개하는 역할을 얼마나 수행 하는지를 나타내는 지수로, 개념 관계망에서 사이중심성이 높은 개념은 서로 다른 개념군을 연결하는 역할이 큰 개념으로 볼 수 있다. 한 네트워크에서 특정 개념의 사이중심성은 아래와 같이 정의된다 (Freeman, 1977).

$$C_i = \frac{\sum_{j=1} g_{jk}(i)/g_{jk}}{(g-2)(g-1)/2}$$

g_{jk} : 두 노드 j 와 k 간에 존재하는 최단 거리의 경우의 수
 $g_{jk}(i)$: 두 노드 j 와 $k(j < k)$ 사이에 존재하는 점 i 를 경유하는 횟수
 g : 네트워크에 참여하는 노드 수

▪ 개념의 고유도 및 개념 간 관계의 고유도

일반적으로 사용하는 네트워크 분석의 지표와 함께 어떤 개념(또는 개념 간 관계)이 특정 학교급에서 집중적으로 다루어지는 정도를 나타내는 지표인 고유도 지수를 아래와 같이 정의하고 이를 분석 지표로 사용하였다.

$$S_k(i) = \frac{f_{ik}}{f_i}$$

$S_k(i)$: k 교과서에서 개념 i (또는 관계 i)의 고유도($0 \sim 1$),
 f_{ik} : 개념 i (또는 관계 i)가 k 교과서에서 나타나는 빈도,
 f_i : 교육과정 전체 교과서에서 개념 i (또는 관계 i)가 나타난 빈도.

▪ 개념 간 관계의 연결 가중치

연결의 가중치는 어떤 두 개념 사이의 관계가 출현한 빈도(weight, $F(\overline{AB})$)이다. 평균 연결 가중치는 한 개념 관계망에 포함된 모든 연결의 가중치를 더한 값을 연결의 수로 나눈 평균값이다. 평균 연결 가중치 해당 관계망을 구성하는 관계들이 반복되는 정도, 즉 강조되는 정도를 나타낸다.

▪ 관계의 근접도

근접도(proximity)는 두 개념 A와 B가 이루는 관계(\overrightarrow{AB})에서 각각의 개념을 중심으로 상대적으로 계산된다. 이는 한 개념이 상대 개념과 함께 의미를 형성하는 정도가 높을수록 개념 간의 인지적 거리가 가깝다고 보고 이를 지수화 한 것이다. 이 지수는 인지구조 내에서 한 개념 A가 다른 개념 B에 대한 연상을 촉발하게 될 확률이라고 볼 수 있다. \overrightarrow{AB} 의 관계에서 A개념을 중심으로 한 근접도를 아래와 같이 정의하고 분석 지수로 사용하였다. 근접도는 0부터 1사이의 값을 가지게 되는데, $P(\overrightarrow{AB})$ 가 1에 가까울수록 개념 A가 상대 개념 B와 함께 쓰이는 정도가 높다는 것을 의미한다.

$$P(\overrightarrow{AB}) = \frac{f_{ab}}{f_a}, \quad P(\overrightarrow{BA}) = \frac{f_{ab}}{f_b}$$

f_a : 개념 a의 빈도, f_b : 개념 b의 빈도,
 f_{ab} : 개념 ab를 포함하는 명제의 빈도

5) 연구 내용에 따른 관계망 생성 및 분석 방법

본 연구에서 설정한 연구 내용에 대한 주요 분석 방법은 다음과 같다.

첫째, 교과서의 생물학 지식을 구성하는 핵심 주제와 개념의 체계를 분석하기 위하여 전체 교과서 내용의 주요 개념 관계망에 대한 군집 분석을 수행하였고, 문헌 조사를 통해 이론적으로 설정한 핵심 주제가 교과서에서 어떻게 나타나고 있는지를 분석하였다. 관계망의 군집분석에는 네트워크의 군집을 분석하는 다양한 알고리즘 중 Gephi 0.9.1 프로그램(Bastian, Heymann, & Jacomy, 2009)이 제공하는 Blondel et al.(2008)의 알고리즘을 사용하였다.

둘째, 학교급별 교과서의 개념체계 및 연계성 분석을 위하여 학교급별 교과서 내용의 주요 개념 관계망에 대한 군집 분석을 통해 학교급별 교과서에 포함된 핵심 주제와 그 내용들 사이의 수평적 연계성을 분석하였다.

셋째, 생물학의 핵심 주제별로 그 내용의 수직적 연계성이 학교급에 따라 어떻게 나타나는지 알아보기 위하여 학교급별 교과서에서 각 핵심 주제

와 관련된 단원의 내용만을 대상으로 개념 관계망 분석을 수행하였다.

세 번째 연구 내용인 핵심 주제별 수직적 연계성 분석을 위해 교과서의 내용을 중·소단원 수준까지 확인하고 핵심 주제에 따라 범주화하여 코딩하였고, 각 주제에 대한 내용을 학교급별로 추출하여 개념 관계망을 생성하고 분석하였다. 범주화에 사용한 핵심 주제는 본 연구의 첫 번째 연구 내용을 통해 확인된 것으로 생명 현상의 여섯 가지 특성인 유기적 구성, 물질대사, 항상성, 유전의 연속성, 진화와 다양성, 상호작용에 대한 주제와 최근 우리 교육과정에서 강조되고 있는 과학 탐구와 과학이 본성에 대한 주제, 생명공학 및 STS와 관련한 주제였다. 이 주제들이 교과서의 생물학 지식을 구성하는 핵심 주제로 보고 이 주제들에 따라 교과서의 내용을 나누어 분석하였다. 각 핵심 주제가 나타내는 생물학 내용은 다음과 같다.

(1) 생명의 유기적 구성

생명 현상은 고도로 체계화된 복잡계로 볼 수 있는데 생물은 이러한 생명의 시스템을 유지하기 위하여 일련의 체계를 가지고 위계적으로 조직된 유기적 구성체이다. 생명체의 이와 같은 특성을 ‘유기적 구성’이라고 한다.

(2) 물질대사

생물이 생명활동을 유지하기 위해서는 많은 물질과 에너지가 필요하다. 이때 생물체 내에서 생명을 유지하기 위해 일어나는 모든 화학 반응을 물질대사라고 한다.

(3) 생명의 항상성

생명의 중요한 특징은 환경의 변화를 감지하고 이에 대응하는 능력을 통해 스스로를 구성하고 있는 세포를 항상 살아있는 상태로 유지한다는 것이다. 생명의 이러한 특성을 ‘항상성’이라고 한다.

(4) 생명의 연속성

모든 생명체는 생식을 통해 자신과 닮은 개체를 만들고, 다음 세대로 유전 정보를 전달한다. 생명의 이러한 특성을 ‘연속성’이라고 한다.

(5) 진화와 생명의 다양성

현재 지구상에는 우리가 알고 있는 종만도 일백만 중에 달할 만큼 매우 다양한 생물들이 살아가고 있다. 이러한 다양한 생물이 나타내는 다양한 특성들은 생물학의 주된 연구 내용 중에 하나이다. 현대 생물학에서는 생명이 보여주는 이러한 다양성이 진화에 의한 것으로 설명한다. 진화는 생물 집단이 여러 세대를 거치면서 변화를 축적해 집단 전체의 특성을 변화시키고 나아가 새로운 종의 분화가 일어나는 현상을 가리키는 것으로 다양한 생명 현상에서 나타나는 단일성과 다양성을 설명해주는 핵심 원리이다.

(6) 상호 작용

생물은 개체, 집단에 관계없이 무생물적 환경 요인의 영향 아래에서 살아가고, 또 그 작용에 대해 반작용함으로써 환경을 변화시키기도 한다. 생물이 나타내는 생명 활동은 이러한 무생물적 환경과의 작용-반작용, 그리고 생물 상호간의 작용으로 인해 복합적이고 상호 의존적인 특성을 나타내게 된다. 생명의 이러한 특성을 '상호 작용'이라고 한다.

(7) 생명공학 기술

생명 현상의 6가지 특성과 관련된 주제와 함께 우리 교육과정에서 생명과학의 핵심 주제로 설정되고 있는 내용이 생명 공학의 기술과 활용에 대한 내용이다. 생명 공학 관련 내용은 그 내용이 과학-기술-사회적(STS) 소양과 밀접한 연관성을 지니기 때문에 그 중요성이 강조되고 있다. 따라서 생명 공학 기술, 첨단 생명 과학이 인간의 생활에 미치는 영향을 다루는 내용들은 생물 교과와 내용을 구성하는 핵심 주제로 볼 수 있다.

(8) 과학 탐구과정

최근의 과학교육에서는 현재의 과학 지식 자체 보다는 그 지식이 과학자의 활동을 통해 구성되는 과정, 즉 과학 지식의 생성과 문제 해결의 과정인 탐구 과정을 학생들이 습득하도록 하는 것을 중요한 교육의 목표가 되고 있다. 따라서 과학의 본성과 과학 탐구과정에 대한 내용도 생물 교과를 통해 학습해야 할 핵심 주제로 설정하였다.

이러한 8가지 핵심 주제가 학교급별로 어떻게 다루어지고 있는지 그 수직적 연계성 분석을 위하여 각 학교급 교과서 생명 영역의 단원에서 다루어지는 내용을 <표 III-2> ~ <표 III-7>과 같이 소단원 수준까지 분석하여 그 내용에서 중심적으로 다루고 있는 주제로 범주화하고 분석하였다.

<표 III-2> 초등학교 3-4학년군 과학 교과서 생명 영역의 단원 및 내용

학년군	단원	중단원	유기적 구성	물질 대사	항상성	연속성	다양성	상호 작용	생명 공학	탐구 과정
3-4 학년군	동물의 한살이	배추흰나비의 한살이				0				
		여러 가지 동물의 한살이				0	0			
	동물의 생활	주변의 동물					0			
		사는 곳에 따른 동물의 생활					0			
	식물의 한살이	씨의 싹트기				0				
		식물의 자람		0						
	식물의 생활	여러 가지 식물의 한살이					0			
		식물의 생김새					0			
		식물이 사는 곳					0			

<표 III-3> 초등학교 5-6학년군 과학 교과서 생명 영역의 단원 및 내용

학년군	단원	중단원	유기적 구성	물질 대사	항상성	연속성	다양성	상호 작용	생명 공학	탐구 과정
5-6 학년군	식물의 구조와 기능	식물은 어떤 구조로 이루어져 있을까요?		0						
		뿌리는 어떤 일을 할까요?		0						
		줄기가 하는 일은 무엇일까요?		0						
		잎에서 만들어지는 물질은 무엇일까요?		0						
		잎에 도달한 물은 어떻게 될까요?		0						
		꽃의 생김새와 하는 일을 알아볼까요?				0				
		식물의 기관은 서로 어떤 관련이 있을까요?		0						
		현미경으로 식물을 보면 어떻게 보일까요?	0							

(표 계속 됨)

〈표 III-3〉 (계속)

학년군	단원	중단원	유기적 구성	물질 대사	항상성	연속성	다양성	상호 작용	생명 공학	탐구 과정
5-6 학년군	우리 몸의 구조와 기능	우리는 어떻게 움직일 수 있을까요?		0						
		우리가 먹은 음식물은 어떻게 될까요?		0						
		심장은 어떤 일을 할까요?		0						
		숨을 쉴 때 우리 몸에서는 어떤 일이 일어날까요?		0						
		우리 몸은 노폐물을 어떻게 내보낼까요?		0						
		우리 몸은 자극에 대하여 어떻게 반응할까요?			0					
		운동할 때 몸에는 어떤 변화가 나타날까요?			0					
		운동할 때 몸에는 어떤 변화가 나타날까요?			0					
	생물과 환경	생태계란 무엇일까요?						0		
		생태계 구성 요소는 서로 어떤 관련이 있을까요?						0		
		생태계 내에서 생물은 서로 어떤 관련이 있을까요?						0		
		비생물적 환경 요인은 생물에게 어떤 영향을 줄까요?						0		
		생물은 환경에 어떻게 적응하며 살아갈까요?				0				
		우리 생활은 생태계에 어떤 영향을 줄까요?						0		
		사람들은 생태계를 보전하고 복원하기 위하여 어떤 노력을 하고 있을까요?						0		
	생물과 우리 생활	버섯과 곰팡이에 대하여 알아보까요?					0			
		해감과 쉼벌레에 대하여 알아보까요?					0			
		세균에 대하여 알아보까요?					0			
		생물은 우리 생활에 어떤 영향을 끼칠까요?						0		
		첨단 생명 과학이 우리 생활에 어떻게 활용되고 있을까요?							0	
	통합 탐구 활동 익히기	가설을 만들어 볼까요?								0
		실험을 계획하여 볼까요?								0
		실험을 해 볼까요?								0
		실험 결과를 정리하고 해석하여 볼까요?								0
		결론을 내려 볼까요?								0

〈표 III-4〉 중학교 과학 교과서 생명 영역의 단위 및 내용

학년군	단원	중단원	유기적 구성	물질 대사	항상성	연속성	다양성	상호 작용	생명 공학	탐구 과정
중학교 7-8 학년군	과학이란	1.1. 과학이란								0
		1.2. 과학은 생활을 변화시켜								0
		1.3. 과학과 관련된 직업이 다양해								0
	광합성	4.1. 식물의 구성	0							
		4.2. 식물의 기관		0						
		4.3. 광합성		0						
	소화, 순환, 호흡, 배설	4.1. 소화		0						
		4.1. 소화 - 동물체의 구성단계	0							
		4.1. 소화		0						
		4.2. 순환		0						
		4.3. 호흡		0						
		4.4. 배설		0						
	자극과 반응	7.1. 감각 기관			0					
		7.2. 신경계			0					
		7.3. 항상성			0					
	생식과 발생	4.1. 생식과 세포 분열				0				
		4.2. 수정과 발생				0				
	유전과 진화	6.1. 유전				0				
		6.2. 생물의 진화와 다양성					0			
	과학과 인류 문명	8.1. 인류 문명은 과학과 함께 발전해								0
		8.2. 첨단 과학 기술은 우리 주변에 있어							0	
		8.3. 과학 기술로 미래 사회가 변해							0	
		8.4. 과학의 발달이 미치는 영향은							0	

〈표 III-5〉 고등학교 과학 교과서 생명 영역 관련 단위 및 내용

대단원	중단원	소단원	유기적 구성	물질 대사	항상성	연속성	다양성	상호 작용	생명 공학	탐구 과정
III. 생명의 진화	1. 생명의 탄생	1.1. 원시 지구와 화학적 진화	O				O			
		1.2. 생명체의 기본 요소								
		2.1. 원시 생명체의 탄생					O			
	2. 생명의 진화	2.2. 광합성과 대기의 산소					O			
		2.3. 화석					O			
		2.4. 지질 시대					O			
		2.5. 원핵세포와 진핵세포					O			
		2.6. 다양한 생물학적 종의 진화					O			
	3. 생명의 연속성	3.1. 염색체와 유전자				O				
		3.2. 생식을 통한 유전자 전달				O				
V. 인류의 건강과 과학 기술	1. 식량 자원	1.1. 육종							O	
		1.2. 비료								
		1.3. 식품 안전							O	
		1.4. 생태계와 생물 다양성					O			
	2. 과학적 건강 관리	2.1. 영양과 물질대사		O						
		2.2. 질병과 면역			O					
		2.5. 천연 및 합성 의약품							O	
	3. 첨단 과학과 질병 치료	3.1. 건강 검진							O	
		3.2. 질병의 진단							O	
		3.3. 첨단 영상 진단							O	
		3.4. 암의 발생과 진단 및 치료							O	
VI. 에너지와 환경	2. 탄소 순환과 기후 변화	2.3. 탄소 순환						O		
		2.4. 광합성과 이산화탄소의 환원		O						

〈표 III-6〉 고등학교 생명과학 I 교과서의 단위 및 내용

대단원	중단원	소단원	유기적 구성	물질 대사	항상성	연속성	다양성	상호 작용	생명 공학	탐구 과정
I. 생명 과학의 이해	1.1. 생명 과학의 이해	1.1.1. 생명 과학의 발달								0
		1.1.2. 생명 현상의 특성								0
		1.1.3. 생물의 구성	0							
II. 세포와 생명의 연속성	2.1. 세포와 세포 분열	2.1.1. 염색체				0				
		2.1.2. 세포 분열				0				
	2.2. 유전	2.2.1. 유전의 기본 원리				0				
		2.2.2. 사람의 유전				0				
		2.2.3. 사람의 돌연변이				0				
III. 항상성과 건강	3.1. 생명 활동과 에너지	3.1.1. 세포의 생명 활동과 에너지		0						
		3.1.2. 소화, 순환, 호흡, 배설 그리고 에너지		0						
	3.2. 항상성과 몸의 조절	3.2.1. 자극의 전달			0					
		3.2.2. 신경계			0					
		3.2.3. 항상성 유지			0					
	3.3. 방어 작용	3.3.1. 질병과 병원체			0					
		3.3.2. 인체의 방어 작용			0					
IV. 자연 속의 인간	4.1. 생태계의 구성과 기능	4.1.1. 생물과 환경의 상호 관계						0		
		4.1.2. 개체군						0		
		4.1.3. 군집						0		
		4.1.4. 물질 순환과 에너지 흐름						0		
	4.2. 생물 다양성과 환경	4.2.1. 생물 다양성						0		
		4.2.2. 생물 다양성의 보전						0		

〈표 III-7〉 고등학교 생명과학 II 교과서의 단위 및 내용

대단원	중단원	소단원	유기적 구성	물질 대사	항상성	연속성	다양성	상호 작용	생명 공학	탐구 과정
I. 세포와 물질대사	1.1. 세포의 특성	1.1.1. 세포의 발견과 연구	0							
		1.1.2. 세포의 구조와 기능	0							
		1.1.3. 세포막을 통한 물질 이동		0						
		1.1.4. 효소		0						
	1.2. 세포와 에너지	1.2.1. 세포와 에너지		0						
		1.2.2. 세포 호흡		0						
II. 유전자와 생명 공학	2.1. 유전자와 형질 발현	1.2.3. 발효		0						
		1.2.4. 광합성		0						
		2.1.1. 유전 물질				0				
		2.1.2. 유전자의 발현				0				
	2.2.1. 생명 공학 기술	2.2.1. 생명 공학 기술							0	
		2.2.2. 생명 공학의 전망과 사회적 책임							0	
III. 생물의 진화	3.1. 생명의 기원과 다양성	3.1.1. 생명의 기원					0			
		3.1.2. 생물의 진화					0			
		3.1.3. 생물의 분류와 계통					0			
		3.1.4. 생물의 다양성					0			
	3.2. 진화의 원리	3.2.1. 개체군의 진화					0			
		3.2.2. 종 분화					0			

IV. 연구 결과

1. 학교급별 교과서 생명 영역의 학습량과 개념 관계망의 구조적 특성

주요 개념과 핵심 주제에 대한 분석에 앞서 내용 분석을 통해 학교급에 따라 학생들에게 부여되는 생물학 내용의 학습량이 어떻게 증감하는지를 알아보았다. 이를 위하여 교과서 생물학 내용의 제시 양상을 분석하고, 학교급별 교과서 생성된 개념 관계망의 구조적 특성을 분석한 결과는 다음과 같다.

1) 학교급별 생물 학습 내용의 증가 양상

분석 대상 교과서로부터 총 14,153개의 문장이 추출되었고, 추출된 문장 중 1,666개의 문장은 문장 내에 하나의 개념만을 포함하고 있는 문장이었다. 이러한 문장들은 단원명이나 탐구활동의 물음 등에서 주로 나타나는데 하나의 개념만 포함하고 있기 때문에 두 개 이상의 개념이 형성하는 관계를 나타내지는 않는다. 하지만 개념의 출현 빈도와는 관련될 수 있으므로 단일 개념만을 포함하는 문장 역시 내용 분석에 포함하였다. 추출된 문장으로부터 생물학 지식을 구성하기 위해 사용된 5,073개의 개념이 추출되었다.

학교급에 따른 생물 학습 내용의 제시 양상을 알아보기 위하여 내용 분석을 통해 초·중·고등학교 과학 교과서의 생명 영역과 고등학교 생명과학 교과서에서 분석된 문장 및 개념의 수, 개념 사이의 관계를 나타내는 연결의 수, 그리고 학교급이 올라감에 따라 상급 학교의 교과서에서 새롭게 나타나는 개념과 연결의 수를 분석하였다(표 IV-1).

<표 IV-1> 교과서에 포함된 생명 영역의 문장에 대한 내용 분석 결과

		과목	문장 수	개념 수	연결 수	신규 학습 개념 수	신규 학습 연결 수
학 교 급	초등학교	과학	1,792	755	4,224		
	중학교	과학	3,233	1,323	10,166	1,001	9,568
		과학	2,107	1,737	12,022	1,116	10,764
	고등학교	생명과학 I	3,163	2,041	16,057	890	12,479
		생명과학 II	3,858	2,651	21,421	1,323	17,913
전체			14,153	5,073	54,948		

<표 IV-1>에서 학교급별 문장 및 개념의 수 증감을 보면 초등학교에서 중학교, 고등학교로 올라갈수록 문장의 수와 개념의 수가 꾸준히 증가하는 경향을 나타내었다. 해당 학교급에서 처음 접하게 되는 개념인 신규 학습 개념의 수로만 비교해 볼 때 초등학교에서 중학교로 올라갈 때에는 1,001의 개념을 새로이 학습하게 되고, 중학교에서 고등학교로 학교급이 올라갈 때에는 3,322개의 개념이 추가로 제시되고 있어 초등학교와 중학교 사이의 증가 폭에 비해 중학교와 고등학교 사이의 학습량 증가폭이 매우 크게 나타났다.

2) 학교급별 교과서의 개념 관계망의 구조적 특성

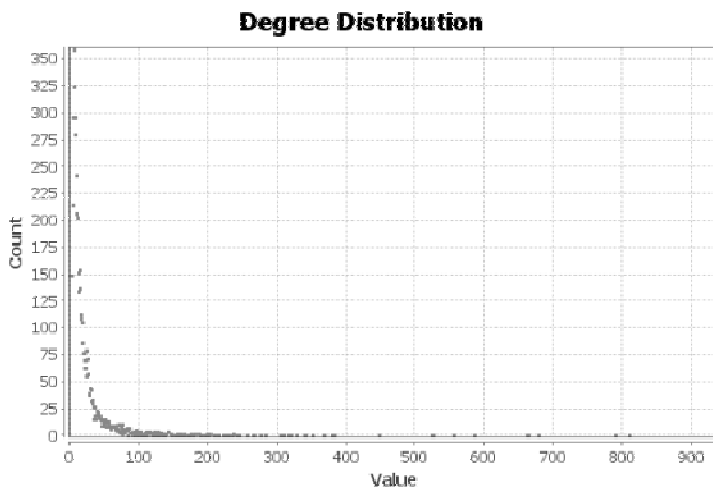
학교급에 따라 교과서에 포함된 생물학 개념의 관계망에 구조적 차이가 있는지를 살펴보기 위해 학교급별 교과서에서 추출된 5,073개의 개념 전체를 포함하는 개념 관계망에 대한 네트워크 분석을 통해 구조적 특성을 나타내는 지표들을 분석하였다(표 IV-2). 내용 분석 결과에서도 나타났듯이 각 학교급별로 개념 수와 관계 수는 지속적으로 증가한 반면 밀도는 학교급이 높아질수록 지속적으로 감소하는 추세를 보이는 것으로 나타났다. 이는 교과서의 생물학 내용이 학교급이 높아질수록 새로이 제시되는 개념들이 기존에 학습된 개념들 사이의 관계를 추가함으로써 통합하는 역할을 하는 것이기 보다는 더 특수한 의미를 형성하는 개념과 관계들로 분화되어 네트워크를 확장하는 역할을 하는 개념이 많음을 나타낸다.

교과서 전체의 개념 관계망에서 한 개념이 평균적으로 몇 개의 개념과 연결되는지를 나타내는 평균 연결정도는 21.7, 관계의 빈도인 연결 가중치(weight)의 평균은 1.84로 나타났다. 연결정도는 해당 학교급에 얼마나 많은 개념이 포함되어 있는가에 따라 대체적으로 비례하는 경향을 나타내었다. 하지만 중학교 교과서에서는 초등학교 교과서에 비하여 그 연결정도가 11.2에서 15.4로 급격한 변화를 보였고, 고등학교 과학 교과서에서는 중학교 교과서에 비하여 약 400개의 개념이 증가하였음에도 연결정도의 평균은 13.8로 오히려 낮아져 상대적으로 낮은 연결정도를 나타내었다(표 IV-2). 연결 가중치의 평균은 연결정도와는 반대로 개념의 수에 반비례하는 경향을 보이는데 중학교 교과서에서는 연결 가중치의 평균이 1.95로 다른 학교급에 비해 상대적으로 같은 관계가 반복되는 경향이 높은 것으로 나타났고, 고등학교 과학의 내용이 가장 낮은(1.41) 평균 연결 가중치를 나타내었다. 교과서 전체 개념 관계망에서 가장 멀리 있는 두 개념을 서로 연결짓기 위해 거쳐야 하는 연결의 수를 나타내는 네트워크의 지름(diameter)은 6~8로 학교급에 따라 비슷한 값을 나타내었다(표 IV-2).

<표 IV-2> 학교급별 교과서 생명 영역 개념 관계망의 구조적 특성

학교급	과목	개념 수	평균 연결정도	평균 연결가중치	지름	밀도	
학 교 급	초등학교	과학	755	11.2	1.74	8	0.015
	중학교	과학	1,323	15.4	1.95	7	0.012
		과학	1,737	13.8	1.41	7	0.008
	고등학교	생명 과학 I	2,041	15.7	1.54	6	0.008
		생명 과학 II	2,651	16.2	1.53	7	0.006
전체		5,073	21.7	1.84	7	0.004	

〈그림 IV-1〉은 모든 학교급 교과서의 내용 전체에 대한 개념 관계망에서 각 개념들이 몇 개의 다른 개념들과 함께 쓰여 관계를 형성하는지를 나타내는 연결정도(degree) 분포 그래프이다. 그래프에 나타난 것처럼 연결 정도의 분포는 대부분의 개념들이 낮은 연결정도를 나타내고, 극소수의 개념들이 극히 많은 개념들과 연결을 형성함으로써 많은 연결을 가지는 개념의 빈도가 낮아지는 멱함수 분포를 따르는 것으로 나타났다. 이 결과는 교과서나 텍스트를 대상으로 개념 관계망 분석을 수행한 선행 연구의 결과들과 일치하는 것이다(Masucci & Rodgers, 2006; 박별나 등, 2010). 이 결과로부터 생명과학 지식을 구성하는 개념의 관계망에도 다수의 개념들을 연결하는 허브 개념, 즉 핵심 역할을 담당하는 몇 개의 개념이 존재한다는 것을 알 수 있다.



〈그림 IV-1〉 교과서 전체 개념 관계망의 연결정도 분포

2. 현행 과학과 교육과정 생명 영역의 주요 개념과 핵심 주제

현행 초·중·고 과학 교과서와 고등학교 생명과학 I·II에 포함되고 있는 생물학 내용 전체에 대하여 개념 관계망을 생성하고, 개념 관계망에서 어떤 개념군들이 나타나는지 분석함으로써 개념군들이 나타내는 생물학 지식의 핵심 주제와 주요 개념을 분석하였다.

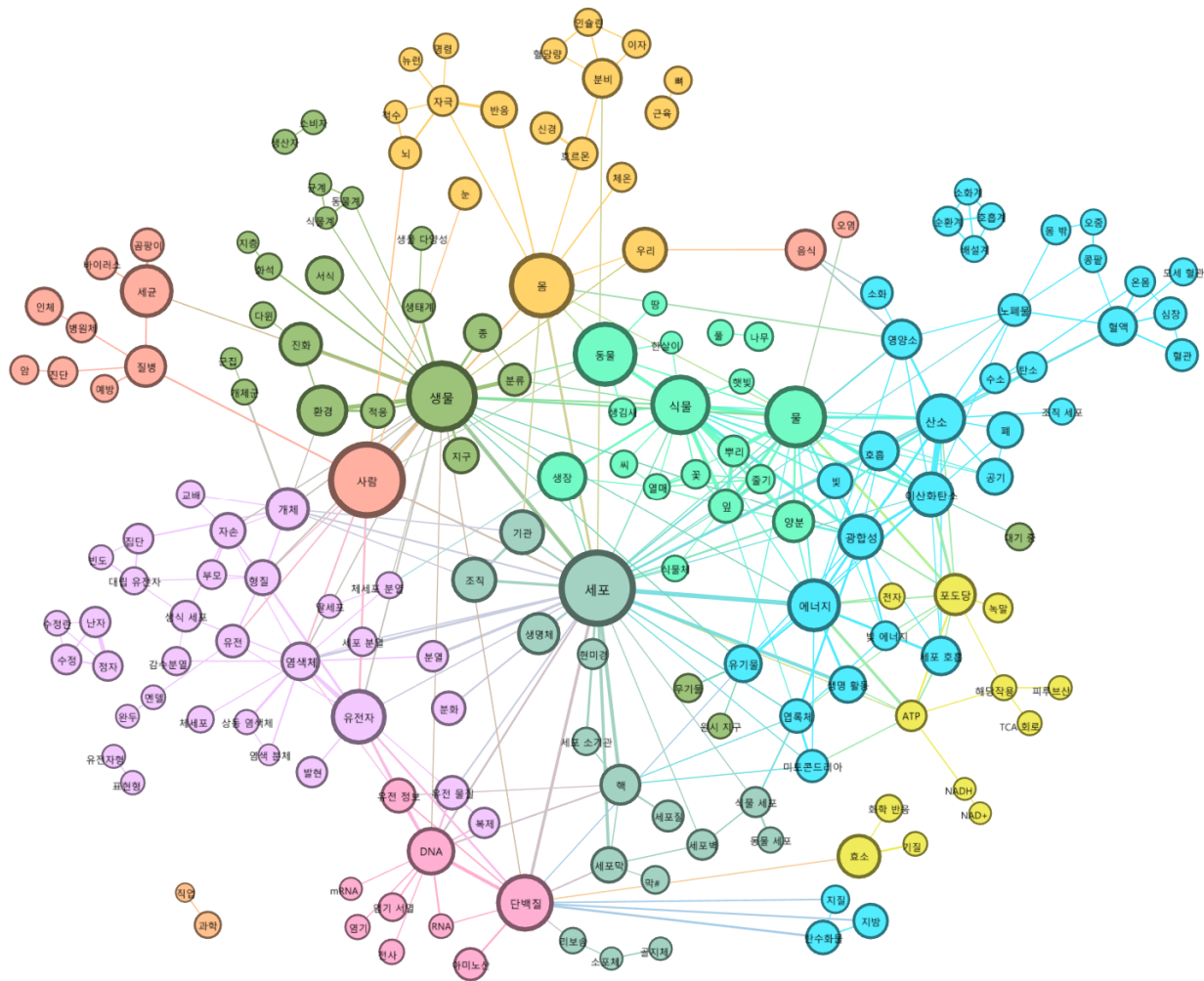
내용분석을 통해 대상 전체에서 추출된 5,073개의 개념으로 구성된 교육과정 전체에 대한 생물학 내용의 개념 관계망은 총 54,948개의 관계를 포함하고 있었다. 이 처럼 노드의 수와 연결의 수가 너무 많은 경우에는 네트워크 분석을 통해 전체적인 지식체계에 대한 직관적이고 시각적인 이해를 얻기 어려울 뿐만 아니라 핵심적인 지식 구조를 파악하기 어려웠다. 따라서 교육과정 전체에 대한 개념 관계망 분석에서는 5천여 개의 개념 중 연구자가 정한 방법에 따라 선정한 328개의 주요 개념만을 포함시켜 개념 관계망을 생성하고 네트워크 특성을 분석하였다. 그리고 개념 관계망에서 강조되고 있는 관계가 잘 드러날 수 있도록 주요 개념 간 관계의 빈도, 즉 연결의 가중치가 15이상인 관계를 나타내는 177개의 주요 개념만을 포함시켜 시각화 하였다(그림 IV-2). 시각화 결과에서 노드의 색깔은 주요 개념 관계망에 대한 모듈성 분석을 통해 나타난 개념군별로 다르게 표시하였다.

이때 네트워크 분석을 통해 구분되는 개념군은 어떠한 선험적 정보도 이용하지 않고 관계망에 대한 통계적 알고리즘(Blondel et al., 2008)에 따라 도출된 것이다. 개념 관계망에서 개념들 간의 관계가 부분적으로 밀집되어 상대적으로 연결이 많지 않은 개념들과는 지역적으로 구분되는 개념의 집단을 개념군으로 볼 수 있고, 이 개념군이 특정한 맥락적 의미를 형성하게 된다. 따라서 본 연구에서는 주요 개념 관계망에서 나타나고 있는 개념군이 생물학 지식의 체계를 이루는 핵심주제(main theme)를 나타낼 것이라고 보았고 이를 귀납적으로 탐색하고, 개념군에 포함된 개념과 관계를 분석함으로써 현행 2009 개정 과학과 교육과정의 교과서에 포함

되고 있는 생물학 내용의 전체적인 체계를 파악하고자 하였다.

시각화 결과가 나타내는 의미와 특징들을 분석하기 위해 177개의 주요 개념에 대한 교과서에서의 출현 빈도와 주요 개념 관계망에서의 중심성 지수를 분석하였다. 개념군별 주요 개념 분석 결과에는 각 주요 개념군에 포함된 주요 개념들이 교과서 전체에서 사용된 빈도와 순위, 주요 개념 관계망에서 다른 개념들과의 연결된 정도와 순위, 그리고 사이중심성 지수와 순위를 정리하여 개념군 내에서의 빈도 순위에 따라 정렬하여 제시하였다.

또 각 개념군의 대표 개념을 중심으로 형성되는 주요 관계와 특징을 알아보기 위하여 개념들 사이의 개념 간 거리(proximity, 근접도)를 바탕으로 개념군의 대표 개념을 중심으로 한 주요 관계를 분석하였다. 분석을 통해 나타난 주요 관계는 근접도($p(\overline{AB})$, $p(\overline{BA})$)가 높은 관계를 중심으로 정리하여 제시하였다.



Note. 노드의 크기는 각 개념의 연결중심성에 비례, 연결선의 굵기는 관계의 가중치(≥ 15)에 비례, 노드의 색상은 노드의 군집에 따라 다름
 <그림 IV-2> 교과서 전체에 대한 주요 개념 관계망

Note. 노드의 크기는 각 개념의 연결중심성에 비례, 연결선의 굵기는 관계의 가중치($a \geq 30$, $b \geq 45$)에 비례, 노드의 색상은 노드의 군집에 따라 다름

<그림 IV-3> 교과서 전체에 대한 주요 개념 관계망의 주요 관계

교과서 생물학 지식의 전체적인 체계를 파악하기 위하여 <그림 IV-2>에서 다른 색깔로 표시되고 있는 하위 개념군들이 나타내는 생물학 지식의 의미와 네트워크 특성(표 IV-3), 그리고 각 개념군에 포함된 주요 개념 사이의 관계에서 나타나는 특징을 개념군별로 분석하였다.

<표 IV-3> 교과서 전체에 대한 주요 개념 관계망의 주요 개념군

개념군 (중심 개념)	하위 개념군	주요 개념수 (%)	평균 연결 정도	평균 연결 가중치	지름	밀도
생물의 유기적 구성 (세포)	1	22 (6.7)	10.46	8.27	3	0.498
물질대사 (에너지, 광합성, 세포 호흡)	2	70 (21.3)	25.14	5.36	3	0.375
항상성 (몸, 자극, 신경, 호르몬)	1	30 (9.2)	14.93	5.08	2	0.515
생명의 연속성 (유전자, 단백질, 염색체, DNA)	2	67 (20.4)	21.10	5.20	3	0.320
생명의 다양성과 상호작용 (생물, 진화, 분류, 환경, 생태계)	1	57 (17.4)	14.14	4.71	3	0.253
식물의 구조 / 동물의 한살이 (식물, 동물)	1	30 (9.2)	15.07	8.58	3	0.520
생명 공학과 건강 (질병, 병원체)	1	45 (13.7)	15.91	3.36	3	0.362
과학 탐구과정 (과학)	1	7 (2.1)	3.14	2.27	3	0.375
계	10	328 (100.0)				

첫 번째 개념군은 주요 개념 관계망(그림 IV-2)의 중앙에 위치한 세포 개념을 포함하는 개념군으로 탐구 과정에 대한 개념군을 제외하고는 주요 개념군 중 가장 적은 수(6.7%)의 주요 개념을 포함하고 있는 개념군이다(표 IV-3). 이 개념군의 대표 개념인 세포 개념은 교과서 전체에서 그 출현 빈도가 가장 높은 개념으로, 연결정도와 사이중심성 또한 교육과정 전체 내용에서 두 번째로 높았다(표 IV-4). 이는 세포 개념은 전역적 중심성을 나타내는 핵심 개념으로서 이 개념군뿐만 아니라 다른 개념군의 의미를 형성할 때에도 기본 개념으로서 쓰이고 있음을 의미한다. 이는 교과서 전체 개념 관계망에서 세포 개념을 중심으로 한 주요 관계를 분석한 결과에서도 세포 개념이 생물, 핵, 세포막, 조직 개념 외에도 에너지, 염색체 등 다른 핵심 주제를 나타내는 개념들과도 개념 간 거리($P(\overline{AB})$)가 가까워 주요 관계에 포함되고 있었다(표 IV-5).

따라서 세포 개념이 나타내는 빈도와 중심성, 그리고 개념 관계망에서 접하는 위치 등을 종합적으로 고려해 볼 때 현행 생명과학 교육과정의 내용에서 가장 중요한 개념은 세포임을 알 수 있다. 이 군집 내에서 세포 개념은 기관, 조직 등의 주요 개념들과 함께 생명의 유기적 구성 단계를 나타내는 의미와 핵, 세포막, 세포질, 세포벽 등 개념과 함께 세포의 구조와 관련한 의미를 형성하고 있었고(그림 IV-2, 표 IV-4), 세포-세포 소기관, 세포-조직-기관의 주요 관계로 요약할 수 있었다(그림 IV-3).

이 개념군에 속한 포함된 주요 개념들 간의 관계 가중치의 평균은 8.27로 다른 개념군에 비하여 높게 나타났다(표 IV-3). 이는 군집에 가장 적은 개념이 포함되고 있기 때문에 나타나는 현상으로 볼 수도 있지만, 이 개념군에 속한 개념들이 교육과정 전체를 걸쳐 반복적으로 강조되고 있는 것으로 해석할 수 있다.

이 개념군의 중심 개념인 세포 개념에 대한 $P(\overline{BA})$ 가 높아 세포 개념에 종속도가 높다고 볼 수 있는 개념들은 주로 세포의 발견과 연구에 관련된 과학사에 등장하는 과학자들의 이름을 나타내는 개념들이었다.

<표 IV-4> 전체 주요 개념 관계망 ‘생물의 유기적 구성’ 개념군의 주요 개념

	주요 개념	빈도		연결정도		사이중심성	
		값	순위	값	순위	값	순위
생물의 유기적 구성	세포	835	1	220	2	0.064	2
	기관	164	30	103	19	0.008	20
	핵	156	33	88	29	0.008	21
	세포막	151	38	71	49	0.005	33
	생명체	122	48	93	24	0.008	24
	현미경	121	49	51	99	0.002	81
	조직	108	61	104	18	0.008	23
	식물 세포	108	61	51	99	0.002	105
	세포 소기관	74	100	41	142	0.001	144
	세포질	72	103	55	83	0.003	61
	세포벽	57	135	52	96	0.002	83
	막#	56	141	42	136	0.001	113
	리보솜	51	159	34	195	0.001	171
	동물 세포	51	159	33	203	0.001	173
	소포체	30	254	21	277	0.000	286
	골지체	28	265	22	271	0.000	282

Note. 개념의 속성 값과 순위는 328개의 주요 개념을 포함한 주요 관계망에 대한 분석의 결과임

<표 IV-5> 교과서 전체 개념 관계망에서 ‘세포’ 개념을 중심으로 한 주요 관계

개념 A: 세포, $F(A)=835$

$P(\overline{AB})$ 상위의 주요 관계					$P(\overline{BA}) \geq 0.5$ 이고 $F(\overline{AB})$ 상위의 주요 관계				
상대 개념 (개념B)	$F(\overline{AB})$	$F(B)$	$P(\overline{AB})$	$P(\overline{BA})$	상대 개념 (개념B)	$F(\overline{AB})$	$F(B)$	$P(\overline{AB})$	$P(\overline{BA})$
에너지	75	318	0.09	0.24	세포 소기관	37	74	0.04	0.50
생물	64	802	0.08	0.08	분화	27	53	0.03	0.51
핵	57	156	0.07	0.37	세포질	9	13	0.01	0.69
생명 활동	56	106	0.07	0.53	리소솜	9	16	0.01	0.56
세포막	49	151	0.06	0.32	혹	8	8	0.01	1.00
단백질	47	306	0.06	0.15	기본 단위	8	15	0.01	0.53
조직	45	108	0.05	0.42	세포 주기	8	16	0.01	0.50
분열	44	84	0.05	0.52	유기적	7	14	0.01	0.50
염색체	41	306	0.05	0.13	공생체	6	6	0.01	1.00
몸	39	397	0.05	0.10	소낭	6	9	0.01	0.67

$F(A)$: 개념 A를 포함하는 관계의 빈도, $F(B)$: 개념 B를 포함하는 관계의 빈도, $F(\overline{AB})$: \overline{AB} 관계의 빈도
 $P(\overline{AB})$: A개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도, $P(\overline{BA})$: B개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도

두 번째 개념군은 약 21%의 주요 개념을 포함하여 가장 많은 수의 주요 개념이 포함된 개념 군집이다. 이 군집에서는 에너지 개념이 군집을 대표하고 있었다. 이 군집에는 에너지, 광합성, 세포 호흡 개념과 함께 산소, 이산화탄소, 포도당, ATP 등 생명체가 생명 활동에 필요한 에너지를 저장하고 사용하는 과정, 즉 물질대사와 관련된 주요 개념들이 포함되고 있었다(표 IV-6). 이 개념군에는 인체가 물질대사를 위한 에너지를 얻고 사용하는 데 관여되는 소화·순환·호흡·배설계의 기능에 대한 개념들과 세포 호흡과 관련된 효소, 해당작용, TCA회로 등의 개념, 물질대사에 관여하는 주요 세포 소기관인 엽록체와 미토콘드리아 개념까지 함께 묶이고 있었다(그림 IV-2). 물질대사를 위한 인체의 구조와 기능과 관련된 내용에서는 혈액 개념의 빈도가 높게 나타났다(표 IV-6). 이를 통해 각 기관계의 역할을 통합적으로 설명하기 위하여 영양소와 노폐물을 운반하는 혈액 개념이 자주 쓰이고 있음을 알 수 있다.

주요 개념 관계망에서 연결의 가중치가 높은 관계만을 나타낸 결과(그림 IV-3)와 핵심 개념인 에너지 개념 중심의 주요 관계 분석 결과(표 IV-7)를 통해 물질대사 개념군의 주요 관계는 세포-생명활동, 세포-세포호흡-에너지-ATP의 관계와 식물-광합성-포도당, 이산화탄소-산소-물, 혈액-온몸의 관계임을 알 수 있다.

또 이 개념군의 대표 개념인 광합성과 세포 호흡을 중심으로 한 주요 관계 분석 결과를 통해 광합성과 관련하여서는 광합성의 반응물과 산물, 광합성이 일어나는 장소를 나타내는 개념과의 관계들이 개념 간 거리($P(\overline{AB})$)가 높은 관계로 나타났고(표 IV-8), 세포 호흡을 광합성과 관련지어 설명하는 정도($P(\overline{AB})=0.12$)가 그 반대의 경우($P(\overline{BA})=0.05$) 보다 높음을 알 수 있다. 세포 내에서 일어나는 물질 대사에 대한 분자 수준의 화학 반응과 관련된 개념들이 세포 호흡을 중심으로 $P(\overline{BA})$ 가 높게 나타나고 있어 해당 개념들이 세포 호흡 개념을 중심으로 묶이고 있음을 알 수 있다(표 IV-9).

<표 IV-6> 전체 주요 개념 관계망 ‘물질 대사’ 개념군의 주요 개념

주요 개념	빈도		연결정도		사이중심성	
	값	순위	값	순위	값	순위
에너지	318	9	133	10	0.020	10
산소	287	13	119	14	0.011	15
광합성	278	14	105	17	0.009	18
이산화탄소	241	17	107	16	0.009	17
혈액	219	20	83	33	0.004	36
효소	189	24	99	21	0.011	16
포도당	161	31	93	24	0.007	26
빛	223	19	68	53	0.004	44
ATP	158	32	53	91	0.002	84
영양소	155	36	86	30	0.004	38
유기물	149	39	77	40	0.003	51
엽록체	133	42	64	58	0.003	50
공기	116	53	73	45	0.003	58
세포 호흡	109	59	83	33	0.005	34
호흡	109	59	84	31	0.004	37
생명 활동	106	63	75	44	0.003	57
미토콘드리아	105	64	59	69	0.004	45
폐	89	76	72	47	0.003	53
노폐물	86	80	58	75	0.001	125
소화	84	82	57	79	0.001	119
심장	79	90	59	69	0.002	93
탄수화물	72	103	64	58	0.002	93
지방	71	105	67	54	0.002	110
물질대사	69	109	39	159	0.001	110
콩팥	68	113	58	75	0.001	111
혈관	67	115	40	149	0.001	195
모세 혈관	65	118	32	208	0.000	222
오줌	64	120	46	124	0.001	157
빛 에너지	64	120	46	124	0.001	157
전자	69	109	34	195	0.001	167
기질	64	120	27	240	0.001	174
온몸	57	135	50	103	0.001	116
순환계	55	144	47	117	0.001	190
수소	53	149	49	108	0.001	135
녹말	52	154	47	117	0.001	178
해당작용	51	159	32	208	0.000	221
탄소	50	164	49	108	0.001	112
몸 밖	49	171	47	117	0.001	170
호흡계	45	182	36	172	0.000	244
화학 반응	43	191	39	159	0.001	177
배설계	40	201	35	184	0.000	270
소화계	40	201	34	195	0.000	278
지질	39	208	41	142	0.001	246
NADH	39	208	20	282	0.000	310
TCA 회로	39	208	28	229	0.000	246
조각 세포	37	225	36	172	0.000	263
피루브산	33	245	25	258	0.000	247
NAD+	22	285	19	285	0.000	316

Note. 개념의 속성 값과 순위는 328개의 주요 개념을 포함한 주요 관계망에 대한 분석의 결과임

<표 IV-7> 교과서 전체 개념 관계망에서 ‘에너지’ 개념을 중심으로 한 주요 관계

개념 A: 에너지, $F(A)=318$

$P(\overline{AB})$ 상위의 주요 관계					$P(\overline{BA}) \geq 0.5$ 이고 $F(\overline{AB})$ 상위의 주요 관계				
상대 개념 (개념B)	$F(\overline{AB})$	$F(B)$	$P(\overline{AB})$	$P(\overline{BA})$	상대 개념 (개념B)	$F(\overline{AB})$	$F(B)$	$P(\overline{AB})$	$P(\overline{BA})$
세포	75	835	0.24	0.09	전자 운반체	5	6	0.02	0.83
ATP	46	158	0.14	0.29	무기 인산	5	8	0.02	0.62
세포 호흡	41	109	0.13	0.38	고에너지 인산 결합	3	4	0.01	0.75
생명 활동	40	106	0.13	0.38	세포 활동	3	4	0.01	0.75
산소	39	287	0.12	0.14	체온 유지	3	5	0.01	0.60
유기물	33	149	0.10	0.22	전기 에너지	3	6	0.01	0.50
포도당	22	161	0.07	0.14	상위 영양 단계	3	6	0.01	0.50
물	22	539	0.07	0.04	태양 에너지	3	6	0.01	0.50
이산화탄소	21	241	0.07	0.09	근육 운동	2	2	0.01	1.00
전자	20	69	0.06	0.29	근육량	2	2	0.01	1.00

$F(A)$: 개념 A를 포함하는 관계의 빈도, $F(B)$: 개념 B를 포함하는 관계의 빈도, $F(\overline{AB})$: \overline{AB} 관계의 빈도
 $P(\overline{AB})$: A개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도, $P(\overline{BA})$: B개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도

<표 IV-8> 교과서 전체 개념 관계망에서 ‘광합성’ 개념을 중심으로 한 주요 관계

개념 A: 광합성, $F(A)=278$

$P(\overline{AB})$ 상위의 주요 관계					$P(\overline{BA}) \geq 0.5$ 이고 $F(\overline{AB})$ 상위의 주요 관계				
상대 개념 (개념B)	$F(\overline{AB})$	$F(B)$	$P(\overline{AB})$	$P(\overline{BA})$	상대 개념 (개념B)	$F(\overline{AB})$	$F(B)$	$P(\overline{AB})$	$P(\overline{BA})$
식물	56	604	0.20	0.09	녹색 식물	8	16	0.03	0.50
이산화탄소	42	241	0.15	0.17	올타리 조직	6	10	0.02	0.60
산소	38	287	0.14	0.13	환경 요인	6	12	0.02	0.50
엽록체	37	133	0.13	0.28	반응식	4	5	0.01	0.80
빛	37	223	0.13	0.17	인공 광합성	4	8	0.01	0.50
양분	36	172	0.13	0.21	태양 에너지	3	6	0.01	0.50
물	35	539	0.13	0.06	환경 요인	2	2	0.01	1.00
빛 에너지	32	64	0.12	0.50	생물 무리	2	3	0.01	0.67
포도당	26	161	0.09	0.16	암석층	2	3	0.01	0.67
유기물	20	149	0.07	0.13	엔젤만	2	3	0.01	0.67

$F(A)$: 개념 A를 포함하는 관계의 빈도, $F(B)$: 개념 B를 포함하는 관계의 빈도, $F(\overline{AB})$: \overline{AB} 관계의 빈도
 $P(\overline{AB})$: A개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도, $P(\overline{BA})$: B개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도

<표 IV-9> 교과서 전체 개념 관계망에서 ‘세포 호흡’ 개념을 중심으로 한 주요 관계

개념 A: 세포 호흡, $F(A)=109$

$P(\overline{AB})$ 상위의 주요 관계					$P(\overline{BA}) \geq 0.5$ 이고 $F(\overline{AB})$ 상위의 주요 관계				
상대 개념 (개념B)	$F(\overline{AB})$	$F(B)$	$P(\overline{AB})$	$P(\overline{BA})$	상대 개념 (개념B)	$F(\overline{AB})$	$F(B)$	$P(\overline{AB})$	$P(\overline{BA})$
에너지	41	318	0.38	0.13	에너지 효율	3	6	0.03	0.50
ATP	24	158	0.22	0.15	에너지 생산량	2	2	0.02	1.00
산소	19	287	0.17	0.07	맥박	2	3	0.02	0.67
포도당	17	161	0.16	0.11	식신산 탈수소 효소	2	3	0.02	0.67
이산화탄소	15	241	0.14	0.06	산화 환원 반응	2	4	0.02	0.50
광합성	15	278	0.14	0.05	무기인산	1	1	0.01	1.00
세포	14	835	0.13	0.02	고분자 화합물	1	1	0.01	1.00
미토콘드리아	13	105	0.12	0.12	포도당 1몰	1	1	0.01	1.00
생명 활동	11	106	0.10	0.10	크리스탈 구조	1	1	0.01	1.00
물	10	539	0.09	0.02	물질 수송	1	1	0.01	1.00

$F(A)$: 개념 A를 포함하는 관계의 빈도, $F(B)$: 개념 B를 포함하는 관계의 빈도, $F(\overline{AB})$: \overline{AB} 관계의 빈도
 $P(\overline{AB})$: A개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도, $P(\overline{BA})$: B개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도

세 번째 주요 개념군은 몸 개념이 가장 중심적인 개념으로 나타난 개념군으로 자극, 반응, 신경, 분비, 체온, 호르몬 등 자극과 반응, 항상성과 관련된 주요 개념들이 포함되고 있었다. 다른 개념군에서와 마찬가지로 몸 개념은 연결정도뿐만 아니라 사이중심성도 높은 편으로 나타났기 때문에 이 군집과 다른 군집을 연결하는 가교 역할을 하고 있음을 짐작할 수 있다(표 IV-10). ‘몸’ 개념을 중심으로 한 주요 관계 분석 결과에서도 몸 개념은 반응, 체온, 자극, 호르몬 개념과 함께 다른 군집의 주요 개념들인 세포, 생물, 개념과도 높은 관계의 빈도와 근접도를 나타내었다(표 IV-11).

이 개념군은 뇌-자극-반응, 신경-호르몬의 주요 관계로 요약될 수 있었다(그림 IV-3의 a, 표 IV-12, 표 IV-13).

<표 IV-10> 전체 주요 개념 관계망 ‘항상성’ 개념군의 주요 개념

	주요 개념	빈도		연결정도		사이중심성	
		값	순위	값	순위	값	순위
항상성	몸	397	6	177	4	0.037	4
	자극	156	33	51	99	0.001	109
	우리	156	33	103	19	0.008	22
	분비	133	42	84	31	0.005	29
	반응	120	51	73	45	0.004	42
	뇌	117	52	58	75	0.002	73
	눈	112	57	59	69	0.003	68
	호르몬	83	85	57	79	0.002	77
	신경	80	89	56	81	0.002	99
	체온	78	92	47	117	0.001	123
	근육	73	102	61	64	0.003	59
	혈당량	59	131	32	208	0.000	227
	인슐린	57	135	40	149	0.001	141
	뉴런	52	154	23	268	0.000	208
	뼈	47	177	40	149	0.002	98
	이자	45	182	42	136	0.001	145
	척수	45	182	21	277	0.000	288
	명령	39	208	30	218	0.001	168

Note. 개념의 속성 값과 순위는 328개의 주요 개념을 포함한 주요 관계망에 대한 분석의 결과임

<표 IV-11> 교과서 전체 개념 관계망에서 ‘몸’ 개념을 중심으로 한 주요 관계

개념 A: 몸, $F(A)=397$

$P(\overrightarrow{AB})$ 상위의 주요 관계					$P(\overrightarrow{BA}) \geq 0.7$ 이고 $F(\overrightarrow{AB})$ 상위의 주요 관계				
상대 개념 (개념B)	$F(\overrightarrow{AB})$	$F(B)$	$P(\overrightarrow{AB})$	$P(\overrightarrow{BA})$	상대 개념 (개념B)	$F(\overrightarrow{AB})$	$F(B)$	$P(\overrightarrow{AB})$	$P(\overrightarrow{BA})$
세포	39	835	0.10	0.05	평형 감각	6	8	0.02	0.75
생물	27	802	0.07	0.03	소뇌	6	12	0.02	0.50
영양소	25	155	0.06	0.16	반고리관	5	7	0.01	0.71
반응	24	120	0.06	0.20	전정 기관	5	7	0.01	0.71
체온	21	78	0.05	0.27	비늘	5	8	0.01	0.62
동물	20	352	0.05	0.06	깃털	3	5	0.01	0.60
기관	20	164	0.05	0.12	무의식적	3	6	0.01	0.50
사람	19	635	0.05	0.03	외골격	3	6	0.01	0.50
자극	18	156	0.05	0.12	키틴질	2	2	0.01	1.00
호르몬	17	83	0.04	0.20	흔적 날개 초파리	2	2	0.01	1.00

$F(A)$: 개념 A를 포함하는 관계의 빈도, $F(B)$: 개념 B를 포함하는 관계의 빈도, $F(\overrightarrow{AB})$: \overrightarrow{AB} 관계의 빈도

$P(\overrightarrow{AB})$: A개념을 중심으로 한 \overrightarrow{AB} 관계의 근접도, $P(\overrightarrow{BA})$: B개념을 중심으로 한 \overrightarrow{AB} 관계의 근접도

<표 IV-12> 교과서 전체 개념 관계망에서 ‘자극’ 개념을 중심으로 한 주요 관계

개념 A: 자극, $F(A)=156$

$P(\overline{AB})$ 상위의 주요 관계					$P(\overline{BA}) \geq 0.7$ 이고 $F(\overline{AB})$ 상위의 주요 관계				
상대 개념 (개념B)	$F(\overline{AB})$	$F(B)$	$P(\overline{AB})$	$P(\overline{BA})$	상대 개념 (개념B)	$F(\overline{AB})$	$F(B)$	$P(\overline{AB})$	$P(\overline{BA})$
반응	44	120	0.28	0.37	무의식적	5	6	0.03	0.83
뇌	31	117	0.20	0.26	액체 물질	5	6	0.03	0.83
감각 기관	21	38	0.13	0.55	기체 물질	4	4	0.03	1.00
뉴런	18	52	0.12	0.35	후각 신경	3	4	0.02	0.75
몸	18	397	0.12	0.05	미각 신경	3	4	0.02	0.75
척수	17	45	0.11	0.38	전달 경로	3	4	0.02	0.75
명령	16	39	0.10	0.41	환각	1	1	0.01	1.00
감각 뉴런	11	17	0.07	0.65	신경 연결	1	1	0.01	1.00
반사	11	21	0.07	0.52	신경 자극	1	1	0.01	1.00
중추 신경계	9	41	0.06	0.22	감각 수용기	1	1	0.01	1.00

$F(A)$: 개념 A의 빈도, $F(B)$: 개념 B의 빈도, $F(\overline{AB})$: \overline{AB} 관계의 빈도
 $P(\overline{AB})$: A개념 중심의 근접도, $P(\overline{BA})$: B개념 중심의 근접도

<표 IV-13> 교과서 전체 개념 관계망에서 ‘호르몬’ 개념을 중심으로 한 주요 관계

개념 A: 호르몬, $F(A)=83$

$P(\overline{AB})$ 상위의 주요 관계					$P(\overline{BA}) \geq 0.5$ 이고 $F(\overline{AB})$ 상위의 주요 관계				
상대 개념 (개념B)	$F(\overline{AB})$	$F(B)$	$P(\overline{AB})$	$P(\overline{BA})$	상대 개념 (개념B)	$F(\overline{AB})$	$F(B)$	$P(\overline{AB})$	$P(\overline{BA})$
신경	36	80	0.43	0.45	표적 세포	9	10	0.11	0.90
분비	23	133	0.28	0.17	과다증	2	2	0.02	1.00
몸	17	397	0.20	0.04	임신 진단 시약	2	3	0.02	0.67
내분비샘	13	19	0.16	0.68	결핍증	2	3	0.02	0.67
기관	12	164	0.14	0.07	신체 발달	1	1	0.01	1.00
항상성	10	29	0.12	0.34	생식선 자극 호르몬	1	1	0.01	1.00
신호	9	29	0.11	0.31	중력	1	1	0.01	1.00
혈액	9	219	0.11	0.04	내분비 세포	1	1	0.01	1.00
시상 하부	7	34	0.08	0.21	표적 기관	1	1	0.01	1.00
혈당량	7	59	0.08	0.12	체온 변화	1	1	0.01	1.00

$F(A)$: 개념 A의 빈도, $F(B)$: 개념 B의 빈도, $F(\overline{AB})$: \overline{AB} 관계의 빈도
 $P(\overline{AB})$: A개념 중심의 근접도, $P(\overline{BA})$: B개념 중심의 근접도

네 번째 군집은 생명의 연속성을 나타내는 개념들을 포함하는 군집이었다. 이 군집은 두 번째로 큰 군집으로 약 20%의 주요 개념을 포함하고 있었다. 이를 통해 현행 교과서에는 물질대사와 함께 생명의 연속성과 관련된 내용이 많이 포함되고 있음을 알 수 있다(표 IV-3). 이 군집에는 2

개의 개념군이 나타나고 있었고, 유전자와 염색체, 단백질과 DNA 개념이 중심 개념으로 나타났다(그림 IV-2, 표 IV-14).

유전자와 염색체 중심의 개념군에는 유전 물질, 형질, 유전, 생식 세포, 분열 등의 주요 개념이 포함되고 있었고, 생명의 연속성을 나타내는 세포-염색체-유전자, 유전자-형질, 난자-정자, 세포-분열의 핵심 관계를 파악할 수 있었다(그림 IV-3). 유전자와 염색체 개념을 중심으로 한 주요 관계 분석 결과에서는 유전자-사람, 염색체-사람의 관계가 주요 관계로 나타나고 있고(표 IV-15, 표 IV-16), 염색체 개념에 종속성이 높다고 볼 수 있는 $P(\overline{BA})$ 가 높게 나타난 개념들은 주로 사람의 세포에서 일어나는 세포 분열 관련 개념들이었다(표 IV-16). 이를 통해 생명의 연속성에 대한 내용이 사람을 예로 들어 설명되는 경향이 높음을 알 수 있었다.

단백질 개념이 중심이 된 개념군에는 유전 정보, 염기 서열, 아미노산, RNA, 전사와 같은 주요 개념들이 유전 정보로부터 단백질이 합성되는 유전자 발현의 과정과 관계된 관계망을 형성하고 있었다. 이를 통해 교과서에 포함된 생물학 지식에서 유전자의 발현에 대한 내용이 하나의 중요한 개념군을 형성하고 있음을 알 수 있다(그림 IV-2). 이 개념군의 주요 관계는 세포-DNA-단백질-유전자의 관계로 요약될 수 있다(그림 IV-3, 표 IV-17, 표 IV-18).

단백질 개념을 중심으로 한 주요 관계 분석 결과(표 IV-17)에서는 단백질이 유전자 발현의 산물임과 동시에, 물질대사를 나타내는 두 번째 개념군에 속한 탄수화물, 지방, 지질 개념과도 근접도가 높은 주요 관계를 나타내었다. 이를 통해 생명체를 구성하는 주요 영양소로서의 기능도 강조되고 있음을 알 수 있고, 효소 개념과의 연결선을 통해서도 단백질이 생명 활동을 가능하게 하는 생체 촉매로서의 의미도 강조되고 있음을 알 수 있다. DNA 개념을 중심으로 한 주요 관계에는 단백질 개념과 함께, 유전자 발현과 관련된 개념과의 관계가 $P(\overline{AB})$ 가 높은 것으로 나타났고, $P(\overline{BA})$ 가 높은 관계를 나타내는 개념들은 주로 DNA의 구조와 관련된 개념들이었다.

<표 IV-14> 전체 주요 개념 관계망 ‘생명의 연속성’ 개념군의 주요 개념

	주요 개념	빈도		연결정도		사이중심성	
		값	순위	값	순위	값	순위
생명의 연속성	유전자	331	8	140	9	0.025	9
	단백질	306	10	147	8	0.028	7
	염색체	306	10	80	37	0.005	30
	DNA	293	12	113	15	0.016	12
	개체	190	23	98	22	0.008	19
	형질	216	22	70	51	0.004	46
	유전	143	41	61	64	0.002	70
	자손	132	47	70	51	0.003	65
	유전 물질	113	56	64	58	0.002	71
	집단	101	65	50	103	0.002	88
	유전 정보	98	68	66	55	0.004	49
	생식 세포	97	70	54	89	0.001	118
	대립 유전자	97	70	40	149	0.001	179
	정자	88	77	49	108	0.002	103
	난자	88	77	52	96	0.001	108
	분열	84	82	53	91	0.002	100
	멘델	82	86	27	240	0.000	242
	상동 염색체	78	92	29	224	0.000	238
	아미노산	77	94	59	69	0.003	67
	부모	75	97	47	117	0.001	165
	복제	69	109	52	96	0.002	79
	체세포 분열	69	109	36	172	0.000	239
	완두	68	113	24	263	0.000	267
	교배	65	118	42	136	0.001	127
	수정	64	120	49	108	0.001	134
	염기 서열	61	126	42	136	0.002	89
	감수분열	59	131	44	132	0.001	169
	세포 분열	55	144	45	126	0.001	143
	유전자형	55	144	24	263	0.000	240
	분화	53	149	64	58	0.003	56
	딸세포	53	149	24	263	0.000	290
	염기	52	154	29	224	0.001	159
	발현	51	159	53	91	0.002	86
	수정란	48	174	31	214	0.000	256
	RNA	47	177	27	240	0.000	234
	체세포	44	187	37	168	0.000	216
	mRNA	42	195	21	277	0.000	243
	빈도	40	201	28	229	0.001	199
	표현형	39	208	26	249	0.000	261
	염색 분체	39	208	16	300	0.000	323
	전사	37	225	30	218	0.000	212

Note. 개념의 속성 값과 순위는 328개의 주요 개념을 포함한 주요 관계망에 대한 분석의 결과임

<표 IV-15> 교과서 전체 개념 관계망에서 ‘유전자’ 개념을 중심으로 한 주요 관계

개념 A: 유전자, $F(A)=331$

$P(\overline{AB})$ 상위의 주요 관계					$P(\overline{BA}) \geq 0.6$ 이고 $F(\overline{AB})$ 상위의 주요 관계				
상대 개념 (개념B)	$F(\overline{AB})$	$F(B)$	$P(\overline{AB})$	$P(\overline{BA})$	상대 개념 (개념B)	$F(\overline{AB})$	$F(B)$	$P(\overline{AB})$	$P(\overline{BA})$
염색체	59	306	0.18	0.19	형질 발현	8	10	0.02	0.80
형질	42	216	0.13	0.19	모건	6	9	0.02	0.67
사람	33	635	0.10	0.05	치환	3	3	0.01	1.00
단백질	32	306	0.10	0.10	인공 유전자	3	4	0.01	0.75
DNA	29	293	0.09	0.10	역위	3	5	0.01	0.60
생물	24	802	0.07	0.03	항생제 내성	3	5	0.01	0.60
발현	24	51	0.07	0.47	유전자설	3	5	0.01	0.60
세포	20	835	0.06	0.02	초파리 돌연변이	2	2	0.01	1.00
유전 정보	17	98	0.05	0.17	정상 형질	2	2	0.01	1.00
유전	16	143	0.05	0.11	단백질설	2	2	0.01	1.00

$F(A)$: 개념 A를 포함하는 관계의 빈도, $F(B)$: 개념 B를 포함하는 관계의 빈도, $F(\overline{AB})$: \overline{AB} 관계의 빈도
 $P(\overline{AB})$: A개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도, $P(\overline{BA})$: B개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도

<표 IV-16> 교과서 전체 개념 관계망에서 ‘염색체’ 개념을 중심으로 한 주요 관계

개념 A: 염색체, $F(A)=306$

$P(\overline{AB})$ 상위의 주요 관계					$P(\overline{BA}) \geq 0.7$ 이고 $F(\overline{AB})$ 상위의 주요 관계				
상대 개념 (개념B)	$F(\overline{AB})$	$F(B)$	$P(\overline{AB})$	$P(\overline{BA})$	상대 개념 (개념B)	$F(\overline{AB})$	$F(B)$	$P(\overline{AB})$	$P(\overline{BA})$
유전자	59	331	0.19	0.18	46개	10	10	0.03	1.00
세포	41	835	0.13	0.05	핵상	8	9	0.03	0.89
상동 염색체	39	78	0.13	0.50	서턴	7	9	0.02	0.78
딸세포	26	53	0.08	0.49	23개	6	6	0.02	1.00
사람	26	635	0.08	0.04	감수 1분열 전기	6	8	0.02	0.75
염색 분체	25	39	0.08	0.64	세포 중앙 적도	5	5	0.02	1.00
분열	23	84	0.08	0.27	분열 중인 세포	5	6	0.02	0.83
염색사	22	31	0.07	0.71	부모 세포	4	4	0.01	1.00
생식 세포	20	97	0.07	0.21	22쌍	4	5	0.01	0.80
감수분열	20	59	0.07	0.34	연관군	3	3	0.01	1.00

$F(A)$: 개념 A를 포함하는 관계의 빈도, $F(B)$: 개념 B를 포함하는 관계의 빈도, $F(\overline{AB})$: \overline{AB} 관계의 빈도
 $P(\overline{AB})$: A개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도, $P(\overline{BA})$: B개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도

<표 IV-17> 교과서 전체 개념 관계망에서 ‘단백질’ 개념을 중심으로 한 주요 관계

개념 A: 단백질, $F(A)=306$

$P(\overline{AB})$ 상위의 주요 관계					$P(\overline{BA}) \geq 0.6$ 이고 $F(\overline{AB})$ 상위의 주요 관계				
상대 개념 (개념B)	$F(\overline{AB})$	$F(B)$	$P(\overline{AB})$	$P(\overline{BA})$	상대 개념 (개념B)	$F(\overline{AB})$	$F(B)$	$P(\overline{AB})$	$P(\overline{BA})$
DNA	54	293	0.18	0.18	번역	10	15	0.03	0.67
세포	47	835	0.15	0.06	운반 소낭	7	9	0.02	0.78
탄수화물	35	72	0.11	0.49	3대 영양소	6	10	0.02	0.60
유전자	32	331	0.10	0.10	단백체학	3	5	0.01	0.60
아미노산	30	77	0.10	0.39	단백질설	2	2	0.01	1.00
지방	28	71	0.09	0.39	주요 성분	2	2	0.01	1.00
유전 정보	24	98	0.08	0.24	모노글리세리드	2	3	0.01	0.67
세포막	24	151	0.08	0.16	주효소	2	3	0.01	0.67
지질	22	39	0.07	0.56	시스터나	2	3	0.01	0.67
효소	18	189	0.06	0.1	유전자 부위	2	3	0.01	0.67

$F(A)$: 개념 A를 포함하는 관계의 빈도, $F(B)$: 개념 B를 포함하는 관계의 빈도, $F(\overline{AB})$: \overline{AB} 관계의 빈도
 $P(\overline{AB})$: A개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도, $P(\overline{BA})$: B개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도

<표 IV-18> 교과서 전체 개념 관계망에서 ‘DNA’ 개념을 중심으로 한 주요 관계

개념 A: DNA, $F(A)=293$

$P(\overline{AB})$ 상위의 주요 관계					$P(\overline{BA}) \geq 0.7$ 이고 $F(\overline{AB})$ 상위의 주요 관계				
상대 개념 (개념B)	$F(\overline{AB})$	$F(B)$	$P(\overline{AB})$	$P(\overline{BA})$	상대 개념 (개념B)	$F(\overline{AB})$	$F(B)$	$P(\overline{AB})$	$P(\overline{BA})$
단백질	54	306	0.18	0.18	2중 나선	11	14	0.04	0.79
유전 정보	41	98	0.14	0.42	윌킨스	10	10	0.03	1.00
유전 물질	31	113	0.11	0.27	프랭클린	10	13	0.03	0.77
세포	30	835	0.10	0.04	X선 회절 사진	6	6	0.02	1.00
RNA	29	47	0.10	0.62	히스톤 단백질	4	4	0.01	1.00
유전자	29	331	0.10	0.09	dNTP	4	5	0.01	0.80
핵	26	156	0.09	0.17	뉴클레오솜	3	3	0.01	1.00
염기 서열	24	61	0.08	0.39	트리플렛 코드	3	3	0.01	1.00
복제	24	69	0.08	0.35	복제 방식	3	3	0.01	1.00
염기	20	52	0.07	0.38	전기 영동	2	2	0.01	1.00

$F(A)$: 개념 A를 포함하는 관계의 빈도, $F(B)$: 개념 B를 포함하는 관계의 빈도, $F(\overline{AB})$: \overline{AB} 관계의 빈도
 $P(\overline{AB})$: A개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도, $P(\overline{BA})$: B개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도

다섯 번째 개념군은 전체 개념의 약 17%를 포함하는 개념군으로 생물, 진화, 환경, 종, 생태계 등의 주요 개념을 포함한 개념군이었다(표 IV-3). 이 개념군의 대표 개념인 생물 개념은 사이중심성이 전체 관계망에서 세 번째로 높은 개념으로 전역적 중심성을 나타내고 있었고(표 IV-19), 생물의 다양성과 생물의 분류에 관련된 개념, 생물의 진화와 관련된 개념, 다양한 환경에서 서식하는 생물과 그들 사이의 상호 작용에 관련된 주요 개념들과 관계가 포함되고 있었다. 주요 관계는 생물-환경-적응, 생물-분류, 생물-진화, 생물-생태계, 생물-종 의 관계로 나타났다(그림 IV-3, 표 IV-20 ~ 표 IV-24).

이 개념군은 많은 주요 개념을 포함하는 한편으로 가장 낮은 밀도(0.253)와 상대적으로 낮은 연결의 가중치(4.71)를 나타내고 있어 개념군에 포함된 관계들 다수가 상대적으로 강조되고 있지 않는 관계들임을 알 수 있다(표 IV-3). 또 생물 개념과 함께 이 개념군의 중심 개념인 진화 개념은 다른 군집의 중심 개념에 비하여 그 연결정도나 사이중심성이 상대적으로 낮게 나타나고 있어 개념 관계망 전체에서 전역적 중심성을 나타내지는 않고 있음을 알 수 있었다(표 IV-19).

이 개념군의 주요 개념을 중심으로 한 주요 관계 분석 결과에서는 진화와 관련하여 자연 선택과 적응 개념과 함께 진화의 증거에 대한 내용이 주요 관계로 나타났다(표 IV-21). 분류와 관련하여서는 식물과 동물 개념이 높은 근접도를 나타내고 있어 현 교육과정의 분류 내용이 주로 식물과 동물의 분류를 중심으로 다루어짐을 알 수 있었다(표 IV-22). 환경 개념을 중심으로는 적응 개념이 높은 관계의 빈도($F(\overline{AB})$)와 근접도($P(\overline{BA})$)를 나타내어 해당 관계가 강조되고 있는 것으로 나타났다(표 IV-23). 평형과 복원 개념이 생태계 개념과 함께 쓰이는 정도가 높은 것으로 나타났다(표 IV-24)

<표 IV-19> 전체 주요 개념 관계망 ‘생물의 다양성과 상호 작용’ 개념군의 주요 개념

	주요 개념	빈도		연결정도		사이중심성	
		값	순위	값	순위	값	순위
생물의 다양성과 상호 작용	생물	802	2	200	3	0.051	3
	진화	257	15	98	22	0.008	25
	환경	233	18	125	12	0.015	13
	종	154	37	78	38	0.005	31
	생태계	149	39	59	69	0.002	85
	분류	133	42	59	69	0.003	66
	지구	133	42	71	49	0.003	52
	화석	110	58	37	168	0.001	152
	개체군	101	65	32	208	0.001	184
	서식	82	86	78	38	0.004	41
	적응	75	97	64	58	0.003	63
	생물 다양성	70	106	24	263	0.000	250
	다윈	58	134	35	184	0.001	196
	원시 지구	46	180	31	214	0.000	258
	군집	40	201	16	300	0.000	302
	동물계	39	208	20	282	0.000	276
	대기 중	38	219	40	149	0.001	198
	식물계	38	219	18	289	0.000	284
	무기물	36	228	44	132	0.001	193
	생산자	34	239	28	229	0.000	274
	지층	31	251	17	293	0.000	305
	균계	30	254	20	282	0.000	283
	소비자	25	273	26	249	0.000	287

Note. 개념의 속성 값과 순위는 328개의 주요 개념을 포함한 주요 관계망에 대한 분석의 결과임

<표 IV-20> 교과서 전체 개념 관계망에서 ‘생물’ 개념을 중심으로 한 주요 관계

개념 A: 생물, $F(A)=802$									
$P(\overline{AB})$ 상위의 주요 관계					$P(\overline{BA}) \geq 0.7$ 이고 $F(\overline{AB})$ 상위의 주요 관계				
상대 개념 (개념B)	$F(\overline{AB})$	$F(B)$	$P(\overline{AB})$	$P(\overline{BA})$	상대 개념 (개념B)	$F(\overline{AB})$	$F(B)$	$P(\overline{AB})$	$P(\overline{BA})$
환경	72	233	0.09	0.31	비생물적 환경 요인	10	12	0.01	0.83
분류	68	133	0.08	0.51	무생물	8	9	0.01	0.89
진화	64	257	0.08	0.25	비생물 환경	8	11	0.01	0.73
세포	64	835	0.08	0.08	5계	7	7	0.01	1.00
생태계	46	149	0.06	0.31	계\$	7	9	0.01	0.78
사람	45	635	0.06	0.07	현재 지구	6	8	0.01	0.75
지구	41	133	0.05	0.31	런네	5	6	0.01	0.83
종	37	154	0.05	0.24	상호 관계	4	5	0.00	0.80
물	31	539	0.04	0.06	종족	4	5	0.00	0.80
적응	31	75	0.04	0.41	종의 분화	3	3	0.00	1.00

$F(A)$: 개념 A를 포함하는 관계의 빈도, $F(B)$: 개념 B를 포함하는 관계의 빈도, $F(\overline{AB})$: \overline{AB} 관계의 빈도
 $P(\overline{AB})$: A개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도, $P(\overline{BA})$: B개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도

<표 IV-21> 교과서 전체 개념 관계망에서 ‘진화’ 개념을 중심으로 한 주요 관계

개념 A: 진화, $F(A)=257$

$P(\overline{AB})$ 상위의 주요 관계					$P(\overline{BA}) \geq 0.6$ 이고 $F(\overline{AB})$ 상위의 주요 관계				
상대 개념 (개념B)	$F(\overline{AB})$	$F(B)$	$P(\overline{AB})$	$P(\overline{BA})$	상대 개념 (개념B)	$F(\overline{AB})$	$F(B)$	$P(\overline{AB})$	$P(\overline{BA})$
생물	64	802	0.25	0.08	자연선택설	6	10	0.02	0.60
환경	23	233	0.09	0.10	돌연변이설	3	4	0.01	0.75
다윈	19	58	0.07	0.33	공통성	2	2	0.01	1.00
화석	16	110	0.06	0.15	바실로사우루스	2	2	0.01	1.00
자연 선택	16	44	0.06	0.36	집단 유전학	2	2	0.01	1.00
적응	14	75	0.05	0.19	원시 진핵 세포	2	2	0.01	1.00
세포	13	835	0.05	0.02	자기 복제 능력	2	2	0.01	1.00
증거	13	44	0.05	0.30	공생 관계	2	3	0.01	0.67
개체	12	190	0.05	0.06	격리설	2	3	0.01	0.67
사람	12	635	0.05	0.02	종의 분화	2	3	0.01	0.67

$F(A)$: 개념 A를 포함하는 관계의 빈도, $F(B)$: 개념 B를 포함하는 관계의 빈도, $F(\overline{AB})$: \overline{AB} 관계의 빈도
 $P(\overline{AB})$: A개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도, $P(\overline{BA})$: B개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도

<표 IV-22> 교과서 전체 개념 관계망에서 ‘분류’ 개념을 중심으로 한 주요 관계

개념 A: 분류, $F(A)=133$

$P(\overline{AB})$ 상위의 주요 관계					$P(\overline{BA}) \geq 0.5$ 이고 $F(\overline{AB})$ 상위의 주요 관계				
상대 개념 (개념B)	$F(\overline{AB})$	$F(B)$	$P(\overline{AB})$	$P(\overline{BA})$	상대 개념 (개념B)	$F(\overline{AB})$	$F(B)$	$P(\overline{AB})$	$P(\overline{BA})$
생물	68	802	0.51	0.08	5계	6	7	0.05	0.86
식물	16	604	0.12	0.03	과\$	6	11	0.05	0.55
종	15	154	0.11	0.10	속\$	6	12	0.05	0.50
동물계	14	39	0.11	0.36	강\$	6	12	0.05	0.50
동물	13	352	0.10	0.04	계\$	5	9	0.04	0.56
식물계	12	38	0.09	0.32	린네	4	6	0.03	0.67
사람	9	635	0.07	0.01	인위 분류	3	3	0.02	1.00
원생생물계	9	26	0.07	0.35	겨울눈	3	4	0.02	0.75
균계	9	30	0.07	0.30	라운키에르	3	5	0.02	0.60
잎	8	252	0.06	0.03	분류학자	2	2	0.02	1.00

$F(A)$: 개념 A를 포함하는 관계의 빈도, $F(B)$: 개념 B를 포함하는 관계의 빈도, $F(\overline{AB})$: \overline{AB} 관계의 빈도
 $P(\overline{AB})$: A개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도, $P(\overline{BA})$: B개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도

<표 IV-23> 교과서 전체 개념 관계망에서 ‘환경’ 개념을 중심으로 한 주요 관계

개념 A: 환경, $F(A)=233$

$P(\overline{AB})$ 상위의 주요 관계					$P(\overline{BA}) \geq 0.7$ 이고 $F(\overline{AB})$ 상위의 주요 관계				
상대 개념 (개념B)	$F(\overline{AB})$	$F(B)$	$P(\overline{AB})$	$P(\overline{BA})$	상대 개념 (개념B)	$F(\overline{AB})$	$F(B)$	$P(\overline{AB})$	$P(\overline{BA})$
생물	72	802	0.31	0.09	행동 방식	2	2	0.01	1.00
적응	39	75	0.17	0.52	유기물 합성	2	3	0.01	0.67
진화	23	257	0.10	0.09	미생물 유전체 연구	2	3	0.01	0.67
형질	15	216	0.06	0.07	열수 분출구	2	4	0.01	0.50
개체	15	190	0.06	0.08	항생제 내성 돌연변이	1	1	0.00	1.00
지구	13	133	0.06	0.10	폐식용유	1	1	0.00	1.00
원시 지구	12	46	0.05	0.26	호기성	1	1	0.00	1.00
동물	11	352	0.05	0.03	휴면 상태	1	1	0.00	1.00
세포	11	835	0.05	0.01	격리 집단	1	1	0.00	1.00
오염	10	52	0.04	0.19	생태계 안정성	1	1	0.00	1.00

$F(A)$: 개념 A를 포함하는 관계의 빈도, $F(B)$: 개념 B를 포함하는 관계의 빈도, $F(\overline{AB})$: \overline{AB} 관계의 빈도
 $P(\overline{AB})$: A개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도, $P(\overline{BA})$: B개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도

<표 IV-24> 교과서 전체 개념 관계망에서 ‘생태계’ 개념을 중심으로 한 주요 관계

개념 A: 생태계, $F(A)=149$

$P(\overline{AB})$ 상위의 주요 관계					$P(\overline{BA}) \geq 0.7$ 이고 $F(\overline{AB})$ 상위의 주요 관계				
상대 개념 (개념B)	$F(\overline{AB})$	$F(B)$	$P(\overline{AB})$	$P(\overline{BA})$	상대 개념 (개념B)	$F(\overline{AB})$	$F(B)$	$P(\overline{AB})$	$P(\overline{BA})$
생물	46	802	0.31	0.06	비생물적 환경	3	4	0.02	0.75
생물 다양성	19	70	0.13	0.27	질소 순환	3	6	0.02	0.50
종	14	154	0.09	0.09	생물 환경	2	2	0.01	1.00
사람	14	635	0.09	0.02	연못 생태계	2	3	0.01	0.67
평형	13	18	0.09	0.72	먹이 관계	2	4	0.01	0.50
먹이 사슬	11	30	0.07	0.37	생태계 안정성	1	1	0.01	1.00
복원	10	15	0.07	0.67	생물학적 다양성	1	1	0.01	1.00
에너지	10	318	0.07	0.03	환경 단체	1	1	0.01	1.00
분해자	8	31	0.05	0.26	환경 영향 평가	1	1	0.01	1.00
생산자	7	34	0.05	0.21	환경 요소	1	1	0.01	1.00

$F(A)$: 개념 A를 포함하는 관계의 빈도, $F(B)$: 개념 B를 포함하는 관계의 빈도, $F(\overline{AB})$: \overline{AB} 관계의 빈도
 $P(\overline{AB})$: A개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도, $P(\overline{BA})$: B개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도

여섯 번째 개념군은 식물과 동물 개념을 중심 개념으로 포함하고 있는 개념군으로 328개의 주요 개념 중 30개(9.2%)의 개념이 포함된 개념군이다(표 IV-3). 이 개념군에는 식물 개념을 중심으로 식물의 기관과 관련된 주요 개념들이 포함되고 있었다(표 IV-25). 식물 개념은 교육과정 전

체에서 높은 빈도를 나타내었고, 식물 개념을 중심으로 형성된 주요 관계들도 높은 연결 가중치를 보였다(표 IV-26, 표 IV-3). 이를 통해 이 개념군에 포함된 식물의 구조와 기능에 관련된 내용이 전체 교육과정에서 반복된 정도가 매우 높고, 교과서의 생물학 지식의 한 영역을 차지할 정도로 관련된 개념들 사이의 관계가 교육과정에서 강조되고 있음을 알 수 있다(표 IV-26).

이 개념군에 포함된 개념 중 ‘물’ 개념은 식물의 구조와 생장에 과정에 대한 설명이 주로 물의 이동과 관련하여 설명되고 있기 때문에 같은 개념군으로 묶이고 있었다. 또 물 개념은 같은 개념군의 동물 개념과도 높은 근접도를 나타내었고(표 IV-27), 주요 개념 관계망에서 사이중심성이 다섯 번째로 높은 개념으로 나타났다(표 IV-25). 이는 여러 가지 생명 현상에 대한 설명에서 물이 사용되고 있다는 것을 의미한다.

동물 개념도 이 군집에 포함된 주요 개념으로 나타났는데, 이는 교과서의 생물학 내용에서 식물과 동물을 비교하거나 서로 관련시켜 설명하는 내용이 많기 때문에 나타나고 있는 네트워크 분석의 결과로 볼 수 있다. 또, 생김새, 한살이 등의 개념이 이 개념군의 주요 개념으로 포함되고 있는 것으로 볼 때 이 개념군이 초등학교 교과서에 포함된 단원들에서 강조되고 있는 내용에 의해 묶이고 있음을 알 수 있다(표 III-2, 표 IV-25). 이처럼 개념군은 다른 주요 개념군과 달리 식물의 물질대사와 관련된 개념, 동물과 식물의 한살이, 즉 연속성과 관련된 개념들이 혼재하여 나타나고 있었고 하나의 고유한 주제가 나타내지는 않았다.

식물을 중심으로 한 주요 관계에서는 식물-잎-광합성, 식물-뿌리-줄기-잎, 식물-뿌리-물, 식물-양분의 관계가 가장 강조되고 있는 것으로 나타났다(표 IV-26). 동물 개념을 중심으로 한 주요 관계 분석 결과에서는 주로 땅, 물 등의 서식처, 생김새, 한살이 개념과 개념 간 근접도가 높게 나타나고 있었는데 교과서에서 이 내용들이 주로 동물의 분류와 관련되어 다루어지고 있음을 알 수 있었다(표 IV-27).

<표 IV-25> 전체 주요 개념 관계망 ‘식물의 구조, 동물의 한살이’ 개념군의 주요 개념

주요 개념	빈도		연결정도		사이중심성	
	값	순위	값	순위	값	순위
식물	604	4	157	7	0.025	8
물	539	5	166	6	0.030	5
동물	352	7	174	5	0.030	6
잎	252	16	66	55	0.003	62
생장	175	27	120	13	0.013	14
양분	172	29	93	24	0.005	32
뿌리	173	28	54	89	0.001	128
줄기	133	42	45	126	0.002	97
꽃	97	70	45	126	0.002	106
씨	93	73	39	159	0.001	126
생김새	92	74	37	168	0.001	158
열매	66	116	36	172	0.000	207
나무	66	116	45	126	0.001	122
햇빛	62	124	29	224	0.000	255
식물체	61	126	35	184	0.000	225
한살이	57	135	19	285	0.000	281
땅	42	195	26	249	0.000	249
풀	39	208	33	203	0.000	209

Note. 개념의 속성 값과 순위는 328개의 주요 개념을 포함한 주요 관계망에 대한 분석의 결과임

<표 IV-26> 교과서 전체 개념 관계망에서 ‘식물’ 개념을 중심으로 한 주요 관계

개념 A: 식물, $F(A)=604$

$P(\overrightarrow{AB})$ 상위의 주요 관계					$P(\overrightarrow{BA}) \geq 0.5$ 이고 $F(\overrightarrow{AB})$ 상위의 주요 관계				
상대 개념 (개념B)	$F(\overrightarrow{AB})$	$F(B)$	$P(\overrightarrow{AB})$	$P(\overrightarrow{BA})$	상대 개념 (개념B)	$F(\overrightarrow{AB})$	$F(B)$	$P(\overrightarrow{AB})$	$P(\overrightarrow{BA})$
잎	68	252	0.11	0.27	학교 주변	13	16	0.02	0.81
물	67	539	0.11	0.12	질소 화합물	9	15	0.01	0.60
광합성	56	278	0.09	0.20	생활 속	8	14	0.01	0.57
동물	54	352	0.09	0.15	개화	6	9	0.01	0.67
뿌리	50	173	0.08	0.29	바이오매스	5	10	0.01	0.50
빛	47	223	0.08	0.21	부레옥잠	5	10	0.01	0.50
양분	45	172	0.07	0.26	개구리밥	4	6	0.01	0.67
줄기	36	133	0.06	0.27	여러해살이풀	4	7	0.01	0.57
생장	36	175	0.06	0.21	마름	3	3	0.00	1.00
이산화탄소	30	241	0.05	0.12	귀뚜라미	3	3	0.00	1.00

$F(A)$: 개념 A를 포함하는 관계의 빈도, $F(B)$: 개념 B를 포함하는 관계의 빈도, $F(\overrightarrow{AB})$: \overrightarrow{AB} 관계의 빈도
 $P(\overrightarrow{AB})$: A개념을 중심으로 한 \overrightarrow{AB} 관계의 근접도, $P(\overrightarrow{BA})$: B개념을 중심으로 한 \overrightarrow{AB} 관계의 근접도

<표 IV-27> 교과서 전체 개념 관계망에서 ‘동물’ 개념을 중심으로 한 주요 관계

개념 A: 동물, $F(A)=352$

$P(\overrightarrow{AB})$ 상위의 주요 관계					$P(\overrightarrow{BA}) \geq 0.6$ 이고 $F(\overrightarrow{AB})$ 상위의 주요 관계				
상대 개념 (개념B)	$F(\overrightarrow{AB})$	$F(B)$	$P(\overrightarrow{AB})$	$P(\overrightarrow{BA})$	상대 개념 (개념B)	$F(\overrightarrow{AB})$	$F(B)$	$P(\overrightarrow{AB})$	$P(\overrightarrow{BA})$
식물	54	604	0.15	0.09	생활 방식	8	9	0.02	0.89
물	23	539	0.07	0.04	배엽	8	12	0.02	0.67
생김새	20	92	0.06	0.22	좌우 대칭	7	8	0.02	0.88
땅	20	42	0.06	0.48	대칭성	5	5	0.01	1.00
몸	20	397	0.06	0.05	3배엽	5	5	0.01	1.00
한살이	17	57	0.05	0.3	공벌레	5	7	0.01	0.71
생물	17	802	0.05	0.02	중배엽	3	4	0.01	0.75
사람	15	635	0.04	0.02	육상 진출	3	4	0.01	0.75
분류	13	133	0.04	0.1	슈반	3	5	0.01	0.60
알	13	75	0.04	0.17	초기 발생	2	2	0.01	1.00

$F(A)$: 개념 A를 포함하는 관계의 빈도, $F(B)$: 개념 B를 포함하는 관계의 빈도, $F(\overrightarrow{AB})$: \overrightarrow{AB} 관계의 빈도
 $P(\overrightarrow{AB})$: A개념을 중심으로 한 \overrightarrow{AB} 관계의 근접도, $P(\overrightarrow{BA})$: B개념을 중심으로 한 \overrightarrow{AB} 관계의 근접도

일곱 번째 개념군은 사람, 세균, 질병의 주요 개념을 중심으로 생명 공학, 재조합 DNA, 암, 병원체, 건강 등을 포함하는 45개의 주요 개념이 교과서에서 다루어지는 생명공학 기술과 건강에 대한 내용을 나타내는 개념군이였다. 하지만 개념 간 관계의 빈도(연결 가중치)가 15이상인 관계만을 시각화한 결과(그림 IV-2)에는 12개의 개념만이 포함되고 있었다. 또 이 개념군에 포함된 관계들의 연결 강도의 평균도 3.36으로 다른 주요 개념군에 비하여 매우 낮게 나타났다(표 IV-3). 또 ‘생명 공학’을 중심으로 한 주요 관계 분석에서도 생명 공학 개념의 빈도는 30으로 낮았고, 관련 주요 관계의 빈도도 모두 3이하로 낮게 나타났다(표 IV-30). 이는 이 개념군에 포함된 주요 개념들 사이의 관계가 전체 교육과정에서 반복적으로 강조되지 않는기 때문으로 볼 수 있다. 또 다른 관점에서 본다면 암 등의 질병 진단 기술과 같은 과학적 건강관리에 대한 내용은 생물학뿐만 아니라 화학, 물리 영역과 관련된 개념들도 다수 포함하는 교과 간 통합의 성격을 지니는 내용이다. 따라서 생명 영역 관련 단원의 개념만을 포함하여 분석한 본 연구의 결과에서는 개념들 사이의 관계가 빈도가 상대적으로 낮게 나타나는 것일 수 있다.

생명 공학과 건강 개념군에서 가장 높은 중심성을 보인 개념은 사람 개념이었는데 사람 개념은 주요 개념 관계망 전체에서도 연결정도와 사이중심성이 가장 높은 개념이었다(표 IV-28). 따라서 사람 개념은 이 군집의 내용을 지역적으로 대표하기 보다는 개념망 전체를 아우르는 전역적 대표 개념으로 보는 것이 타당할 것이다. 이 개념은 개념 관계망(그림 IV-2)에서도 같은 군에 속한 개념들과 가깝게 위치하지 않고 관계망의 안쪽으로 위치하여 세포, 생물 개념과 함께 관계망의 중심축을 이루고 있었다. 실제로 사람 개념을 중심으로 한 주요 관계 분석 결과에서는 생물, 유전자, 염색체, 몸 등의 다양한 주제를 대표하는 개념들과의 주요 관계가 나타났다(표 IV-29).

<표 IV-28> 전체 주요 개념 관계망 ‘생명 공학과 건강’ 개념군의 주요 개념

주요 개념	빈도		연결정도		사이중심성		
	값	순위	값	순위	값	순위	
생명 공학과 건강	사람	635	3	222	1	0.082	1
	세균	219	20	132	11	0.017	11
	질병	183	25	92	27	0.006	27
	음식	177	26	89	28	0.005	35
	인체	88	77	77	40	0.004	47
	암	86	80	44	132	0.001	147
	병원체	82	86	50	103	0.001	153
	바이러스	74	100	55	83	0.002	95
	곰팡이	70	106	61	64	0.002	96
	진단	64	120	48	113	0.001	114
	오염	52	154	34	195	0.000	231
	예방	55	144	39	159	0.002	104

Note. 개념의 속성 값과 순위는 328개의 주요 개념을 포함한 주요 관계망에 대한 분석의 결과임

<표 IV-29> 교과서 전체 개념 관계망에서 ‘사람’ 개념을 중심으로 한 주요 관계

개념 A: 사람, $F(A)=635$					$P(\overrightarrow{BA}) \geq 0.7$ 이고 $F(\overrightarrow{AB})$ 상위의 주요 관계				
상대 개념 (개념B)	$F(\overrightarrow{AB})$	$F(B)$	$P(\overrightarrow{AB})$	$P(\overrightarrow{BA})$	상대 개념 (개념B)	$F(\overrightarrow{AB})$	$F(B)$	$P(\overrightarrow{AB})$	$P(\overrightarrow{BA})$
생물	45	802	0.07	0.06	46개	9	10	0.01	0.90
유전자	33	331	0.05	0.10	유인원	7	7	0.01	1.00
세포	29	835	0.05	0.03	23쌍	6	6	0.01	1.00
질병	27	183	0.04	0.15	원숭이	5	5	0.01	1.00
염색체	26	306	0.04	0.08	전염	5	6	0.01	0.83
형질	25	216	0.04	0.12	꼬리뼈	4	4	0.01	1.00
유전	23	143	0.04	0.16	영장류	3	3	0.00	1.00
뇌	21	117	0.03	0.18	유전체 지도	3	3	0.00	1.00
몸	19	397	0.03	0.05	유아기	3	3	0.00	1.00
눈	15	112	0.02	0.13	인슐린 유전자	3	3	0.00	1.00

$F(A)$: 개념 A를 포함하는 관계의 빈도, $F(B)$: 개념 B를 포함하는 관계의 빈도, $F(\overrightarrow{AB})$: \overrightarrow{AB} 관계의 빈도
 $P(\overrightarrow{AB})$: A개념을 중심으로 한 \overrightarrow{AB} 관계의 근접도, $P(\overrightarrow{BA})$: B개념을 중심으로 한 \overrightarrow{AB} 관계의 근접도

<표 IV-30> 교과서 전체 개념 관계망에서 ‘생명 공학’ 개념을 중심으로 한 주요 관계

개념 A: 생명 공학, $F(A)=30$					$P(\overrightarrow{BA}) \geq 0.5$ 이고 $F(\overrightarrow{AB})$ 상위의 주요 관계				
상대 개념 (개념B)	$F(\overrightarrow{AB})$	$F(B)$	$P(\overrightarrow{AB})$	$P(\overrightarrow{BA})$	상대 개념 (개념B)	$F(\overrightarrow{AB})$	$F(B)$	$P(\overrightarrow{AB})$	$P(\overrightarrow{BA})$
바이오	3	8	0.10	0.38	DNA 재조합	1	1	0.03	1.00
생물	3	802	0.10	0.00	물질 분해 능력	1	1	0.03	1.00
DNA	2	293	0.07	0.01	생물 제재	1	1	0.03	1.00
형질 전환	2	18	0.07	0.11	인공 지능	1	1	0.03	1.00
사람	2	635	0.07	0.00	환경오염 물질	1	1	0.03	1.00
사회적 쟁점	2	4	0.07	0.50	바이오 소재	1	2	0.03	0.50
인류	2	79	0.07	0.03	바이오 정보	1	2	0.03	0.50
유전자 기술	2	11	0.07	0.18	세포 융합	1	2	0.03	0.50
생명 윤리	2	7	0.07	0.29	DNA 염기 서열 분석법	1	2	0.03	0.50
약품 개발	1	4	0.03	0.25	인공 DNA	1	2	0.03	0.50

$F(A)$: 개념 A를 포함하는 관계의 빈도, $F(B)$: 개념 B를 포함하는 관계의 빈도, $F(\overrightarrow{AB})$: \overrightarrow{AB} 관계의 빈도
 $P(\overrightarrow{AB})$: A개념을 중심으로 한 \overrightarrow{AB} 관계의 근접도, $P(\overrightarrow{BA})$: B개념을 중심으로 한 \overrightarrow{AB} 관계의 근접도

마지막으로 〈그림 IV-2〉의 시각화 결과에는 이상의 주요 개념군 외에 과학-직업의 관계가 나타나 있는데 이는 〈표 IV-3〉에서 가장 작은 개념군을 형성한 과학 탐구과정과 과학의 본성에 대한 내용을 나타내는 개념들 간의 관계를 대표한다. 하지만 이 개념군에 포함되고 있는 대부분의 주요 개념들의 사이의 관계는 시각화 결과에 포함되고 있지 않고 있고, 연결 가중치도(2.27)로 매우 낮게 나타나고 있었다. 이는 과학 탐구과정과 과학의 본성에 대한 내용이 생물 교과 외에도 물리·화학·지구과학 교과의 내용에서도 다루어질 것이고, 따라서 생명 영역의 내용만 분석한 본 연구의 결과에서는 이 주제에 대한 양적 분석의 결과들이 다른 주제에 비해 상대적으로 작게 나타난 것으로 볼 수 있다. 그러나 이러한 통합 주제가 과학의 각 교과 영역 따로 다루어질 것을 감안 하더라도, 본 연구에서 통합 단원의 내용까지 포함하여 분석한 결과는 과학 탐구과정 주제와 관련된 내용의 강조 정도가 다른 주제들에 비하여 매우 낮음을 보여준다.

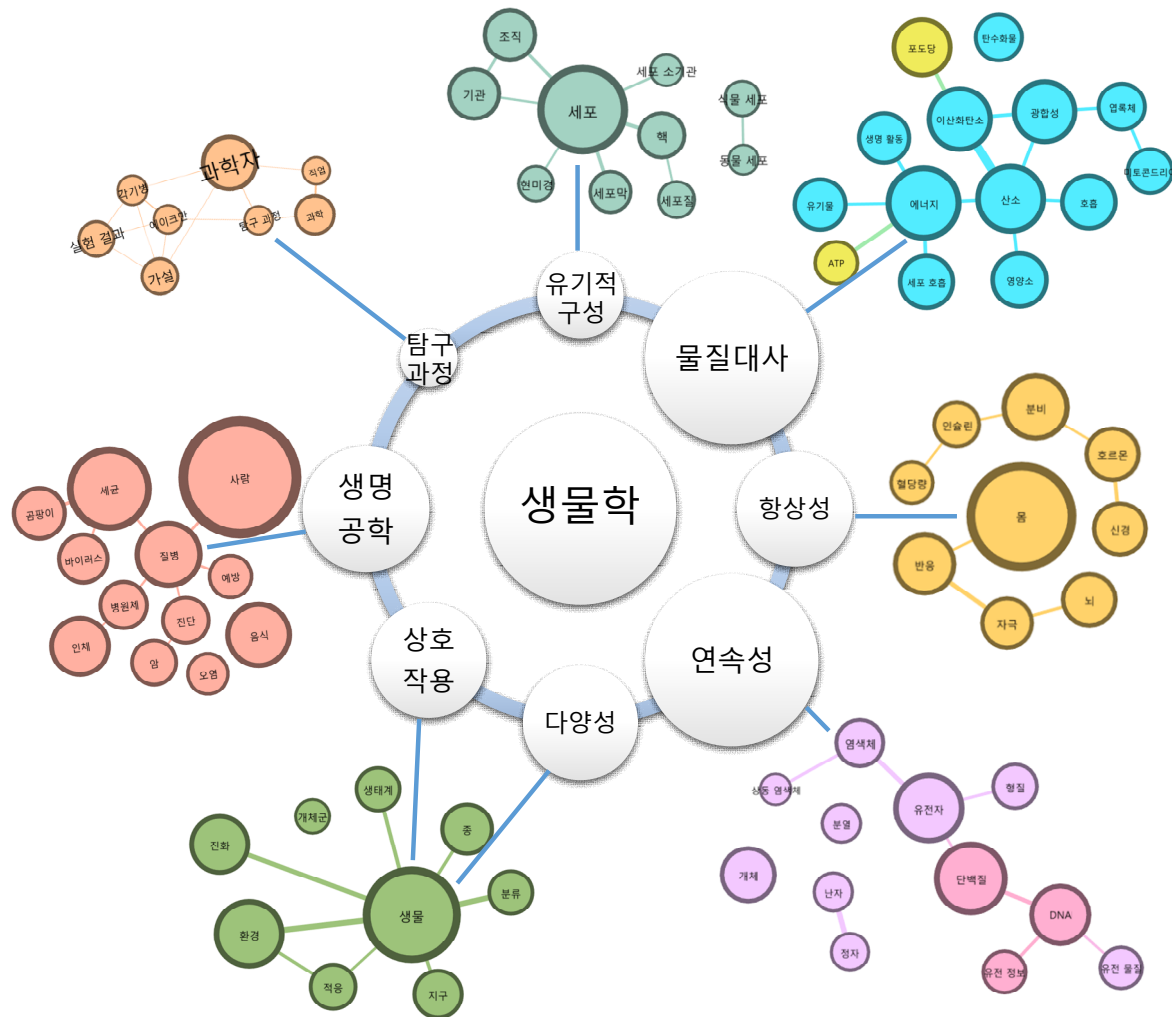
이상의 교육과정 전체에 대한 주요 개념 관계망 분석을 통해 현행 교과서에 포함된 생물학의 주요 개념들이 그 개념들 사이의 연결 강도와 근접도에 따라 다음과 같이 묶여 핵심 주제를 나타내는 개념군을 형성하고 있음을 알 수 있었다. 1) 세포 개념을 중심으로 한 생명의 유기적구성에 대한 내용, 2) 에너지, 광합성, 세포 호흡, 영양소, 혈액, 노폐물 개념을 중심으로 한 물질대사에 대한 내용, 3) 몸, 자극, 반응, 신경, 호르몬 개념을 중심으로 한 항상성에 대한 내용, 4) 염색체와 유전자, DNA와 단백질 개념을 중심으로 한 생명의 연속성과 유전자의 발현에 대한 내용, 5) 진화와 분류, 생태계 개념을 중심으로 한 생명의 다양성과 상호작용에 대한 내용, 6) 질병과 건강을 중심으로 한 생명공학 기술에 대한 내용, 7) 식물과 동물 개념이 중심이 된 내용, 8) 과학 개념을 중심으로 한 과학 탐구과정에 대한 내용이 묶여 개념군을 형성하고 있음을 알 수 있었다.

유기적 구성, 물질대사, 항상성, 연속성 개념군은 생명의 특성을 나타내는 핵심 주제에 대응하는 고유한 개념군이 형성되었고, 이 중 물질대사와

연속성 주제에 대한 내용이 많은 주요 개념을 포함하고 있어서 현행 교육과정에서 많은 비율을 차지하는 핵심 주제로 나타났다(표 IV-3). 생물의 진화와 다양성 주제와 상호작용 주제에 관련된 개념들은 각각 독립된 개념군을 형성하지 못하고 하나의 개념군으로 묶였고, 고유한 핵심 주제를 나타내지 않은 식물과 동물 개념 중심의 개념군은 초등학교 교과서에서 다루어지고 있는 식물의 구조와 기능과 동물의 한살이 등의 내용을 함께 포함하고 있었다. 이러한 현상은 개념 관계망의 군집 분석이 개념들이 함께 자주 쓰이는 정도에 기초하여 모듈을 판단하기 때문에 나타나는 현상으로 보인다.

전체 교육과정에 대한 주요 개념 관계망에 포함되고 있는 주요 개념군들에서 각각 가장 높은 빈도와 연결정도를 보이는 중심 개념들은 해당 개념군의 주요 개념들과 함께 지역적 허브로서 역할을 하기도 하지만, 전체 개념 관계망에서 해당 개념이 속해있는 개념군 이외의 다른 개념군의 개념들을 연결하는 중개자 역할을 하는 전역적 허브의 의미도 가진다. 일반적으로 전역적 허브들은 네트워크에서 사이중심성이 높게 나타나는 특징이 있고, 이로 볼 때 교과서 전체에 대한 개념 관계망에서는 사람, 세포, 생물, 몸의 개념이 대표적인 전역적 허브로서 교과서의 생물학 지식을 이루는 축을 형성하는 개념임을 알 수 있었다(표 IV-28, 표 IV-4, 표 IV-19, 표 IV-10).

분석을 통해 조사한 현행 교과서에 포함된 생물학 내용의 핵심 주제와 각 핵심 주제에 대한 주요 개념들의 관계는 <그림 IV-4>와 같이 요약될 수 있다. 개념군에 따라 포함된 주요 개념의 수와 강조의 양상에는 차이가 있으나 본 연구에서 이론적으로 설정한 핵심 주제인 6가지 생명의 특성과 생명공학 기술, 과학 탐구과정에 대한 내용이 현행 교육과정 생물 교과서의 내용을 이루는 핵심 주제임을 알 수 있었다.



3. 학교급별 교과서 생물 내용의 개념 체계 및 연계성

앞서 교육과정 전체에 대한 분석을 통해 현행 과학과 교육과정 생명 영역의 내용 전체를 아우르는 핵심 주제와 주요 개념의 체계를 큰 틀에서 조망하였다. 이는 학생들이 초등학교에서 고등학교에 이르기까지의 모든 정규 교육을 이수 하였을 때 최종 결과로서 습득하게 될 생물학 지식의 체계를 보여주는 것이라고 할 수 있다.

하지만 교육은 학교급별로 이루어지고 학교급에 따라 교육의 내용과 수준 또한 다르게 이루어진다. 그러므로 학생들이 교육과정을 통해 생물학 내용을 학습할 때 어떤 내용을 어떤 순서로 배우게 되는지를 파악할 필요가 있다. 이를 위해서는 각 학교급의 교과서에서 생물학 지식의 체계가 어떻게 나타나고 있는지 탐색하고 그것이 교육과정 전체에서의 지식 구조 형성에 어떻게 기여하고 있는지, 또 학교급 교과서 내용의 전체적인 연계성은 어떠한지를 알아볼 필요가 있었다.

이러한 분석의 필요성에 따라 각 학교급별 교과서의 내용에 대한 관계망을 분석하였다. 분석을 위해 교육과정 전체에 대한 분석에서와 같이 328개의 주요 개념만을 노드로 한 주요 개념 관계망을 생성하였고, 이에 대한 네트워크 분석의 지수와 연결의 가중치가 높은 주요 관계만을 포함하여 시각화한 결과를 분석하였다. 각 학교급 교과서의 주요 개념 관계망에 대한 네트워크 구조의 특성을 분석한 결과는 <표 IV-31>과 같다.

초등학교 교과서에서는 주요 개념들 사이의 평균 연결 가중치가 3.33으로 가장 높아 개념들 간의 관계를 반복적으로 강조하는 정도가 높음을 알 수 있고, 고등학교 과학 교과서의 내용은 가장 낮은 연결 가중치(2.02)와 밀도(0.076)를 나타내었다.

교과서에서 나타나고 있는 생물학 지식의 구조와 강조되고 있는 내용을 시각적으로 알아보기 위하여 각 학교급 주요 개념 관계망에 대해 군집 분석을 수행하고, 개념 간 관계의 빈도가 5이상, 연결정도가 1이상인 개념

<표 IV-31> 학교급별 주요 개념 관계망의 구조적 특성

학교급	주요 개념 수	연결 수	평균 연결정도	평균 연결 가중치	지름	밀도
초등학교 과학	115	760	13.2	3.33	5	0.116
중학교 과학	231	2,167	18.8	2.97	5	0.082
고등학교 과학	255	2,460	19.3	2.02	5	0.076
고등학교 생명과학 I	265	3,192	24.1	2.22	4	0.091
고등학교 생명과학 II	294	3,329	22.6	2.41	5	0.077
전체	328	7,634	46.5	3.81	3	0.142

들을 시각화하였다. 시각화 결과에는 개념 관계망에 포함된 개념 중 중심성과 고유도가 높은 주요 개념들을 함께 제시하였다. 고유도는 각 개념이 전체 교육과정 중 해당 학교급에서 사용된 정도를 나타낸다(그림 IV-3).

시각화 결과에서 노드의 색깔은 주요 개념 관계망에 대한 군집성 분석에서 얻어진 개념군별로 다르게 표시하였다. 이때 특정 개념이 어느 개념군에 속하는가는 통계적 분석의 결과에 따른 것으로, 그 개념이 분류된 해당 개념군에 대해서만 의미를 형성하고 다른 개념군에 속한 개념들과는 무관하다는 의미는 아님을 유의할 필요가 있다. 예를 들어 <그림 IV-3>의 초등학교 교과서의 주요 관계망에서 한살이 개념은 동물 개념과 같은 개념군에 속하는 것으로 나타나고 있다. 이는 한살이 개념이 동물 개념과 함께 쓰이는 정도가 높음을 의미하는 것일 뿐, 한살이 개념이 식물과는 무관하다는 의미는 아니며, 식물의 한살이에 대한 내용도 교과서에서 중요하게 다루어지고 있기 때문에 식물 개념 역시 한살이 개념과 주요 관계를 형성하고 있음을 개념들 간의 관계를 통해 파악하여야 한다. 개념 사이의 관계를 나타내는 연결선의 두께는 두 개념이 함께 사용된 빈도(연결 가중치)에 비례하는 것으로, 연결선이 두꺼울수록 두 개념이 함께 쓰이는 정도가 높음을 의미한다. 교과서 내용에 포함된 주요 관계를 알아볼 수 있도록 주요 개념군을 대표하는 개념을 중심으로 형성되고 있는 주요 관계들을 개념 간

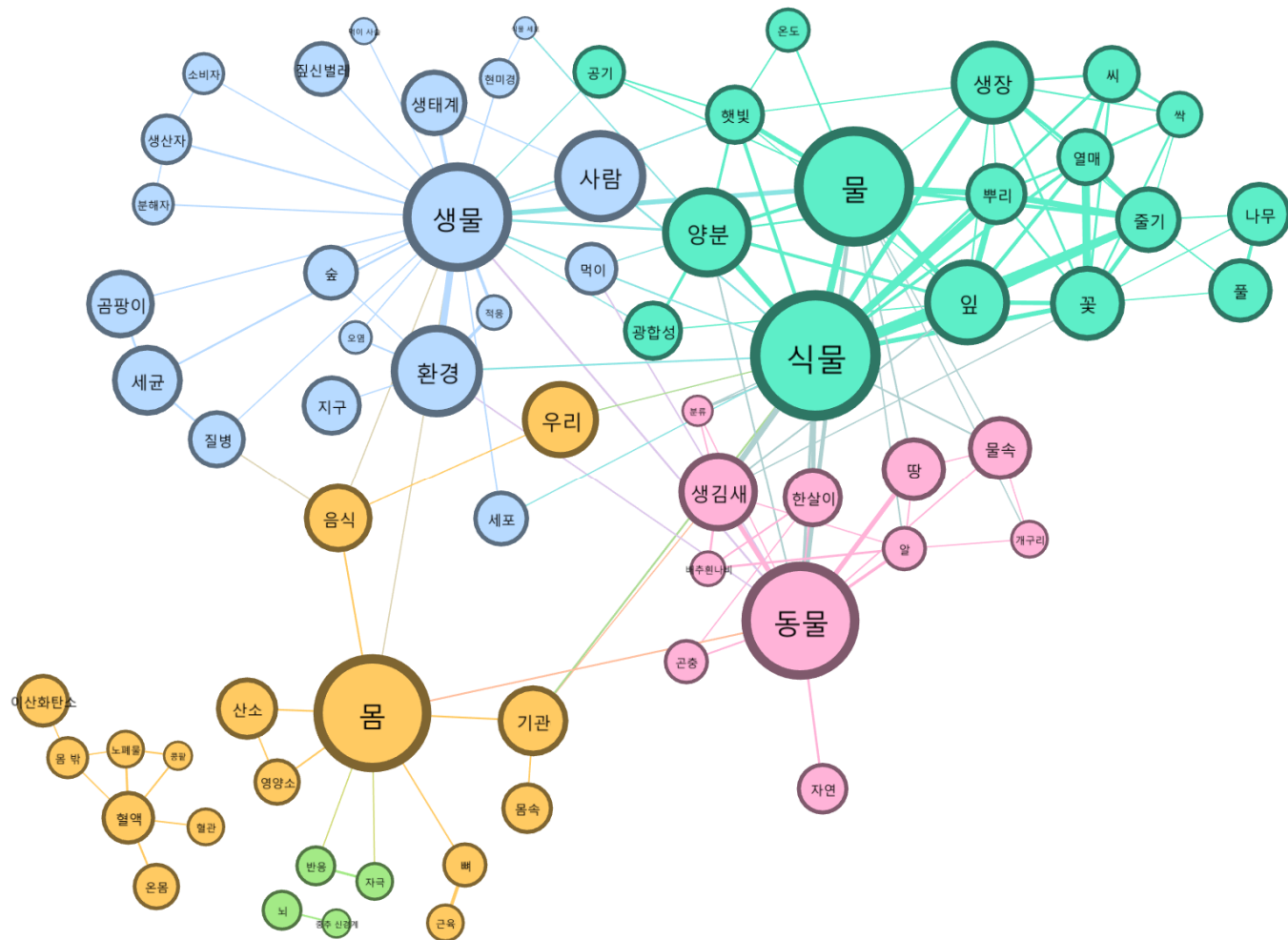
거리 분석 결과와 함께 정리하여 제시하였다.

전체 교육과정에 대한 개념 관계망 분석에서와 마찬가지로 개념 관계망에 대한 시각화 결과는 그 자체만으로도 교과서의 내용을 전체적으로 탐색하고 분석적으로 접근할 수 있는 훌륭한 자료가 될 수 있다. 하지만 각 학교급 교과서에 나타나고 있는 생물학 지식의 체계에 대한 좀 더 깊은 이해를 위하여 개념 관계망이 나타내는 의미를 각 급 교과서에 제시된 구체적 내용과 연결 지어 살펴보았다.

또 각 학교급 교과서에서 제시되고 있는 생물학 내용의 수평적 연계성을 알아보기 위하여 관계망 분석에서 나타난 핵심 개념과 개념군들이 나타내는 주요 관계를 분석하였다.

1) 초등학교 과학 교과서 생물학 지식의 개념 체계와 수평적 연계성

초등학교 과학 교과서의 생명 영역에서는 교육과정에서 설정한 내용체계에 따라 3-4학년군에서 동물의 한살이와 생활, 식물의 한살이와 생활에 대한 내용을 다루고, 5-6학년군에서 식물의 구조와 기능, 우리 몸의 구조와 기능, 생물과 환경, 그리고 생물과 우리 생활에 대한 내용이 다루어지고 있다(표 III-2, 표 III-3). 이 단원들의 내용에서는 115개의 주요 개념을 포함하고 있었고 네트워크의 밀도는 0.116이었다(표 IV-31). <그림 IV-5>는 초등학교 교과서의 주요 개념 관계망에 대한 시각화 결과이다. 시각화 결과에서 노드의 크기가 크게 나타난 개념들은 전체 개념 관계망에서 다양한 개념들과 연결된 정도가 높은 개념들로 식물, 동물, 생물, 몸 등의 개념이었다. 이 개념들이 초등학교에서 다루어지고 있는 생물 내용의 주제를 대표하는 핵심 개념임을 알 수 있다.



Note. 노드의 크기는 각 개념의 연결정도에 비례, 연결선의 굵기는 관계의 가중치(≥ 5)에 비례, 노드의 색상은 노드의 군집에 따라 다름

<그림 IV-5> 초등학교 교과서의 주요 개념 관계망

<표 IV-32> 초등학교 교과서 개념 관계망의 주요 개념 (지수별 상위 30개)

빈도		연결정도		사이중심성		고유도	
개념	값	개념	값	개념	값	개념	값
식물	276	식물	52	몸	0.157	한살이	1.00
동물	168	물	47	식물	0.107	배추흰나비	1.00
생물	145	동물	46	동물	0.103	씩	0.94
물	134	몸	46	물	0.099	생김새	0.90
잎	105	생물	42	생물	0.063	땅	0.79
몸	90	환경	34	우리	0.051	꽃	0.73
생김새	83	사람	34	사람	0.048	씨	0.73
뿌리	73	양분	33	기관	0.037	열매	0.73
꽃	71	잎	31	잎	0.033	알	0.71
씨	68	우리	31	세균	0.033	짚신벌레	0.66
줄기	63	생장	30	이산화탄소	0.033	풀	0.62
환경	61	생김새	28	너	0.030	햇빛	0.61
생장	58	꽃	26	양분	0.027	물속	0.58
한살이	57	세균	24	음식	0.025	뼈	0.53
알	53	기관	24	환경	0.025	곰팡이	0.49
양분	51	곰팡이	23	생김새	0.024	동물	0.48
사람	49	음식	23	산소	0.020	줄기	0.47
열매	48	줄기	22	씨	0.020	식물	0.46
생태계	46	생태계	22	곰팡이	0.018	개구리	0.43
세균	45	땅	21	세포	0.017	곤충	0.43
햇빛	38	나무	21	몸속	0.015	뿌리	0.42
배추흰나비	35	풀	21	눈	0.015	잎	0.42
곰팡이	34	뿌리	20	생장	0.015	나무	0.38
땅	33	산소	20	꽃	0.014	자연	0.34
씩	30	한살이	19	생태계	0.014	생장	0.34
기관	29	햇빛	19	짚신벌레	0.014	생산자	0.32
나무	25	지구	19	소화	0.014	소비자	0.32
뼈	25	광합성	19	한살이	0.013	먹이	0.31
음식	24	씨	18	반응	0.012	생태계	0.31
먹이	24	열매	18	질병	0.011	양분	0.30

초등학교 교과서에서 4개의 핵심 개념을 중심으로 나타나고 있는 각 주요 개념군의 의미와 특징을 분석한 결과는 다음과 같다.

첫 번째는 식물 개념이 중심이 된 개념군이였다. 이 개념군의 대표 개념인 식물 개념은 초등학교 교과서의 관계망에서 그 빈도, 연결정도, 사이중심성 모두가 매우 높게 나타나는 개념으로 전역적 중심성을 보이고 있었

다. 이는 초등학교 생물 내용에 식물과 관련된 내용이 특히 많이 포함되어 있음을 의미한다. 또 이 개념군에 포함된 관계를 나타내는 연결선의 굵기가 다른 개념군에 비하여 두꺼운 경향을 보여, 식물을 중심으로 한 개념군의 관계들이 교과서에서 반복적으로 강조되고 있음을 알 수 있다(그림 IV-5).

이 개념군은 주로 초등학교 3-4학년군 식물의 한살이, 식물의 생활 단원에서 다루어지고 있는 내용과 5-6학년군의 식물의 구조와 기능 단원의 내용을 보여주는데 교과서의 해당 단원에서는 식물의 각 기관을 나타내는 개념들과 함께 다양한 서식처에서 자라는 다양한 식물의 이름이 포함되고 있었다(표 IV-33).

<표 IV-33> 초등학교 과학 교과서에 나타난 ‘식물’ 개념 중심의 주요 관계

개념 A: 식물, $F(A)=276$					$P(\overrightarrow{BA}) \geq 0.7$ 이고 $F(\overrightarrow{AB})$ 상위의 주요 관계				
상대 개념 (개념B)	$P(\overrightarrow{AB})$ 상위의 주요 관계				상대 개념 (개념B)	$F(\overrightarrow{AB})$ 상위의 주요 관계			
	$F(\overrightarrow{AB})$	$F(B)$	$P(\overrightarrow{AB})$	$P(\overrightarrow{BA})$		$F(\overrightarrow{AB})$	$F(B)$	$P(\overrightarrow{AB})$	$P(\overrightarrow{BA})$
잎	37	105	0.13	0.35	학교 주변	13	15	0.05	0.87
물	32	134	0.12	0.24	생활 속	8	10	0.03	0.80
뿌리	31	73	0.11	0.42	바닷가	4	5	0.01	0.80
생김새	24	83	0.09	0.29	건조	3	3	0.01	1.00
양분	22	51	0.08	0.43	마름	3	3	0.01	1.00
줄기	22	63	0.08	0.35	부들	3	3	0.01	1.00
생장	21	58	0.08	0.36	단풍나무	3	3	0.01	1.00
꽃	20	71	0.07	0.28	토끼풀	3	3	0.01	1.00
한살이	17	57	0.06	0.30	강가	3	4	0.01	0.75
빛	15	40	0.05	0.38	연꽃	3	4	0.01	0.75

$F(A)$: 개념 A를 포함하는 관계의 빈도, $F(B)$: 개념 B를 포함하는 관계의 빈도, $F(\overrightarrow{AB})$: \overrightarrow{AB} 관계의 빈도
 $P(\overrightarrow{AB})$: A개념을 중심으로 한 \overrightarrow{AB} 관계의 근접도, $P(\overrightarrow{BA})$: B개념을 중심으로 한 \overrightarrow{AB} 관계의 근접도

식물 중심 개념군의 주요 개념 중 꽃, 씨, 열매의 개념들은 고유도가 높게 나타나고 있었다(그림 IV-5, 표 IV-32). 이를 통해 식물의 영양기관에 대한 개념들과 달리 생식기관에 관한 개념들은 초등학교 교과서에서만 주로 다루어짐을 알 수 있다.

이 개념군으로 분류된 ‘물’ 개념도 높은 빈도와 연결정도, 사이중심성을 보였다(표 IV-32). 초등학교 교과서에서는 ‘물’을 서식지로 하여 살아가는

다양한 생물의 이름이 제시되고 있었고, 5학년의 식물의 구조와 기능 단원에서 식물의 주요 기관에서 물이 흡수, 이동, 사용되는 과정에 대한 설명을 포함하고 있기 때문에 이러한 특징이 나타나고 있었다.

이 개념군에서는 식물 개념을 중심으로 식물-뿌리-줄기-잎, 식물-물-뿌리, 식물-양분, 꽃-열매의 관계가 주요 관계로 나타났다(그림 IV-5). 식물 개념을 중심으로 한 주요 관계에서는 식물의 주요 기관을 나타내는 개념들과 그 기관의 기능을 나타내는 관계, 생김새, 한살이 등의 개념과의 관계를 통해서 생물의 유기적 구성, 물질대사, 연속성, 다양성 특성을 나타내는 주요 관계들이 나타났다(표 IV-33).

두 번째는 동물 개념을 중심으로 한 개념군이다. 이 개념군은 3-4학년 군에서 배우는 동물의 한살이와 생활 단원의 내용을 주로 보여준다. 교과서의 해당 단위에서는 땅, 물, 하늘 등 다양한 서식처에 살고 있는 다양한 동물의 이름과 동물에 따른 한살이의 차이에 대한 내용이 포함되고 있었다(표 IV-34). 특히 배추흰나비의 한살이를 자세히 다룸으로써 동물이 한세대 동안 지속적으로 발생하고 성장함(자람)을 구체적인 예를 통해 학습하도록 하고 있었다(표 IV-32).

<표 IV-34> 초등학교 과학 교과서에 나타난 ‘동물’ 개념 중심의 주요 관계

개념 A: 동물, $F(A)=168$									
$P(\overline{AB})$ 상위의 주요 관계					$P(\overline{BA}) \geq 0.7$ 이고 $F(\overline{AB})$ 상위의 주요 관계				
상대 개념 (개념B)	$F(\overline{AB})$	$F(B)$	$P(\overline{AB})$	$P(\overline{BA})$	상대 개념 (개념B)	$F(\overline{AB})$	$F(B)$	$P(\overline{AB})$	$P(\overline{BA})$
땅	20	33	0.12	0.61	하늘	7	9	0.04	0.78
생김새	20	83	0.12	0.24	공벌레	5	7	0.03	0.71
한살이	17	57	0.10	0.30	까치	4	4	0.02	1.00
물	17	134	0.10	0.13	박쥐	4	4	0.02	1.00
알	12	53	0.07	0.23	고래	3	3	0.02	1.00
식물	12	276	0.07	0.04	다람쥐	2	2	0.01	1.00
새끼	11	23	0.07	0.48	달팽이	2	2	0.01	1.00
암수	10	14	0.06	0.71	박새	2	2	0.01	1.00
자연	9	18	0.05	0.50	피라미	2	2	0.01	1.00
생활 방식	8	9	0.05	0.89	말	2	2	0.01	1.00

$F(A)$: 개념 A를 포함하는 관계의 빈도, $F(B)$: 개념 B를 포함하는 관계의 빈도, $F(\overline{AB})$: \overline{AB} 관계의 빈도
 $P(\overline{AB})$: A개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도, $P(\overline{BA})$: B개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도

동물 중심 개념군의 주요 관계는 동물-땅, 동물-한살이, 동물-생김새, ‘배추흰나비-알’의 관계였다. 동물 개념을 중심으로 $P(\overline{AB})$ 가 높은 관계를 형성하는 개념 중 땅, 생김새, 물, 생활 방식 등의 개념은 생물의 다양성 주제를 나타내고, 한살이, 알, 새끼, 암수 등의 개념은 연속성 주제를 나타내고 있음을 알 수 있었다(표 IV-34)

세 번째는 생물과 환경 개념을 중심으로 한 개념군이다. 이 개념군에는 생태계와 환경오염, 생물과 사람 등의 개념들이 연결되어 개념군을 이루고 있었다. 이 개념군은 6학년의 생물과 환경 단원과 생물과 우리 생활 단원의 내용을 보여주는 것으로, 해당 단위에서는 생태계를 구성하는 다양한 생물들과 그 생물들의 상호작용, 생물과 환경의 상호작용 등에 대한 내용이 다루어지고 있었고, 세균과 같은 일부 생물들은 질병의 원인이 될 수 있음을 설명하는 내용도 포함되어 있었다(표 IV-35). 이 개념군을 대표하는 개념인 생물 개념은 그 사이 중심성이 다른 개념군을 대표하는 핵심 개념들에 비하여 낮아서 전역적 중심성은 상대적으로 낮음을 알 수 있었다(표 IV-32).

<표 IV-35> 초등학교 과학 교과서에 나타난 ‘생물’ 개념 중심의 주요 관계

개념 A: 생물, $F(A)=145$									
$P(\overline{AB})$ 상위의 주요 관계					$P(BA) \geq 0.6$ 이고 $F(\overline{AB})$ 상위의 주요 관계				
상대 개념 (개념B)	$F(\overline{AB})$	$F(B)$	$P(\overline{AB})$	$P(\overline{BA})$	상대 개념 (개념B)	$F(\overline{AB})$	$F(B)$	$P(\overline{AB})$	$P(\overline{BA})$
환경	29	61	0.20	0.48	비생물적 요인	10	12	0.07	0.83
우리 생활	21	28	0.14	0.75	생산자	8	11	0.06	0.73
물	20	134	0.14	0.15	분해자	6	8	0.04	0.75
생태계	13	46	0.09	0.28	먹이 사슬	5	7	0.03	0.71
적응	12	20	0.08	0.60	소비자	5	8	0.03	0.62
양분	10	51	0.07	0.20	상호 작용	3	3	0.02	1.00
비생물적 환경 요인	10	12	0.07	0.83	오염 물질	3	5	0.02	0.60
동물	8	168	0.06	0.05	생태 피라미드	3	5	0.02	0.60
해캄	8	24	0.06	0.33	행동 방식	2	2	0.01	1.00
세균	8	45	0.06	0.18	병하기 환경	2	2	0.01	1.00

$F(A)$: 개념 A를 포함하는 관계의 빈도, $F(B)$: 개념 B를 포함하는 관계의 빈도, $F(\overline{AB})$: \overline{AB} 관계의 빈도
 $P(\overline{AB})$: A개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도, $P(\overline{BA})$: B개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도

<표 IV-36> 초등학교 과학 교과서에 나타난 ‘환경’ 개념 중심의 주요 관계

개념 A: 환경, $F(A)=61$

$P(\overline{AB})$ 상위의 주요 관계					$P(\overline{BA}) \geq 0.5$ 이고 $F(\overline{AB})$ 상위의 주요 관계				
상대 개념 (개념B)	$F(\overline{AB})$	$F(B)$	$P(\overline{AB})$	$P(\overline{BA})$	상대 개념 (개념B)	$F(\overline{AB})$	$F(B)$	$P(\overline{AB})$	$P(\overline{BA})$
생물	29	145	0.48	0.20	행동 방식	2	2	0.03	1.00
적응	14	20	0.23	0.70	폐식용유	1	1	0.02	1.00
오염	7	10	0.11	0.70	화석 연료	1	1	0.02	1.00
식물	7	276	0.11	0.03	습도	1	1	0.02	1.00
동물	6	168	0.10	0.04	폐기물	1	1	0.02	1.00
지구	5	16	0.08	0.31	멸종	1	2	0.02	0.50
숲	5	13	0.08	0.38	매립지	1	2	0.02	0.50
생태계	3	46	0.05	0.07	무리	1	2	0.02	0.50
우리	3	35	0.05	0.09	농약	1	2	0.02	0.50
세균	3	45	0.05	0.07	농작물	1	2	0.02	0.50

$F(A)$: 개념 A를 포함하는 관계의 빈도, $F(B)$: 개념 B를 포함하는 관계의 빈도, $F(\overline{AB})$: \overline{AB} 관계의 빈도
 $P(\overline{AB})$: A개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도, $P(\overline{BA})$: B개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도

생물 중심의 개념군이 나타내고 있는 내용은 생물-환경-적응, 환경-오염, 생물-생태계, 생물-생산자-소비자-분해자의 주요 관계로 요약할 수 있었다(그림 IV-5, 표 IV-35, 표 IV-36). 생물 개념을 중심으로 높은 $P(\overline{BA})$ 를 나타내고 있는 비생물적 환경 요인, 적응, 상호 작용 등의 개념과의 관계를 통해 생물의 상호 작용 특성에 대한 내용, $P(\overline{AB})$ 가 높게 나타난 동물, 해캄, 세균 등의 개념과의 주요 관계를 통해 생물의 다양성에 대한 내용, 생물-우리 생활의 주요 관계를 통해 생물을 활용한 생명공학 기술에 대한 내용이 이 개념군에서 다루어진 생물학의 핵심주제로 파악되었다.

마지막으로 몸을 중심으로 한 개념군은 5-6학년군에 설정되어 있는 우리 몸의 구조와 기능 단원의 내용을 보여 준다. 해당 단원에서는 인체의 각 기관 즉, 감각기관, 호흡기관, 순환기관, 소화기관의 구조와 기능에 대하여 다루고 있었다. 이 개념군에 속한 개념들은 다른 개념군과 연결이 거의 없고, 개념 군 내에서도 그 관계가 단순한 특징이 시각화 결과에 나타나고 있었는데(그림 IV-5), 이는 해당 개념군의 내용에 다수의 주요 개념들이 포함되기는 하였으나 5회 이상 반복된 관계가 적었기 때문이었다. 따

라서 초등학교 교과서에서는 식물의 구조와 기능에 대한 내용(표 IV-33)과는 달리 인체의 구조와 기능에 대한 내용은 반복적으로 강조되고 있는 정도($F(\overline{AB})$)가 상대적으로 낮음을 알 수 있다(표 IV-37). 몸을 중심으로 한 개념군은 혈액-온몸, 혈액-노폐물, 몸-영양소-산소, 몸-기관, 뼈-근육, 자극-반응, 뇌-중추신경계의 주요 관계로 요약될 수 있었다(그림 IV-5, 표 IV-37).

<표 IV-37> 초등학교 과학 교과서에 나타난 ‘몸’ 개념 중심의 주요 관계

개념 A: 몸, $F(A)=90$					$P(\overline{BA}) \geq 0.5$ 이고 $F(\overline{AB})$ 상위의 주요 관계				
상대 개념 (개념B)	$P(\overline{AB})$ 상위의 주요 관계				상대 개념 (개념B)	$F(\overline{AB})$ 상위의 주요 관계			
	$F(\overline{AB})$	$F(B)$	$P(\overline{AB})$	$P(\overline{BA})$		$F(\overline{AB})$	$F(B)$	$P(\overline{AB})$	$P(\overline{BA})$
음식	7	24	0.08	0.29	날개	3	6	0.03	0.50
산소	7	14	0.08	0.50	통로 역할	2	4	0.02	0.50
기관	7	29	0.08	0.24	수염	1	1	0.01	1.00
영양소	7	9	0.08	0.78	원에 치료사	1	1	0.01	1.00
동물	7	168	0.08	0.04	위장막	1	1	0.01	1.00
숨	7	20	0.08	0.35	비누	1	1	0.01	1.00
뼈	6	25	0.07	0.24	연관	1	1	0.01	1.00
생물	5	145	0.06	0.03	피로	1	1	0.01	1.00
자극	5	14	0.06	0.36	골격	1	1	0.01	1.00
반응	5	13	0.06	0.38	날치	1	1	0.01	1.00

$F(A)$: 개념 A를 포함하는 관계의 빈도, $F(B)$: 개념 B를 포함하는 관계의 빈도, $F(\overline{AB})$: \overline{AB} 관계의 빈도
 $P(\overline{AB})$: A개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도, $P(\overline{BA})$: B개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도

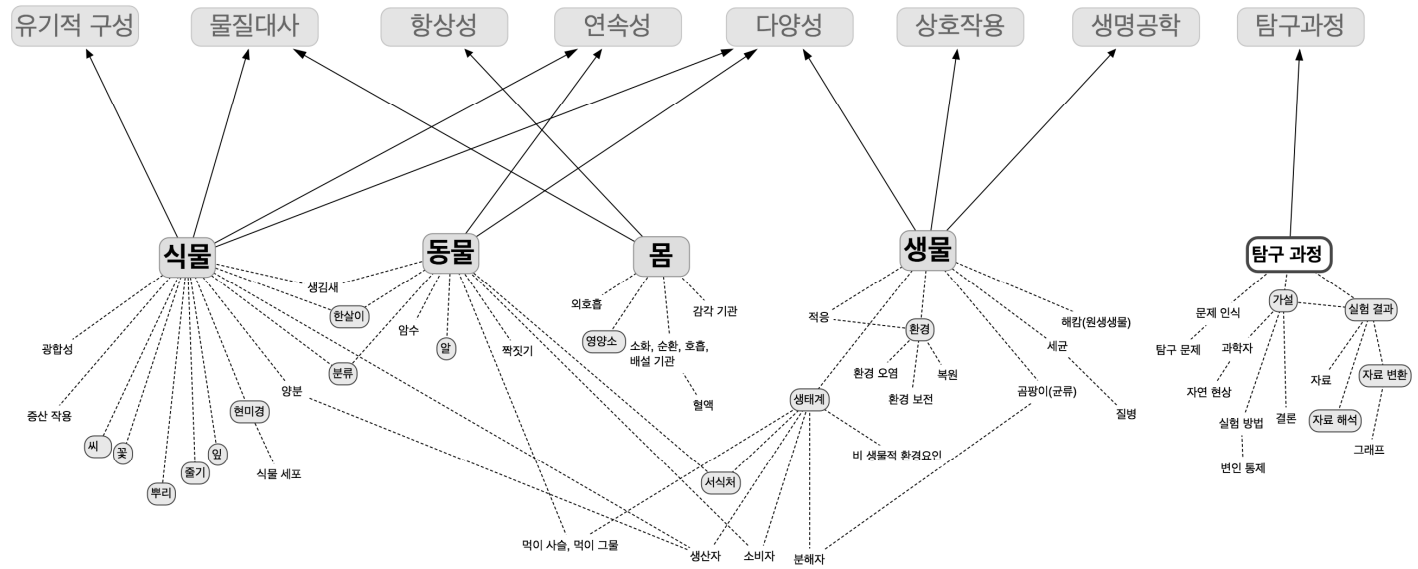
<표 IV-32>의 주요 개념 목록에서 고유도가 높게 나타난 한살이, 배추 흰나비, 생김새, 땅, 꽃, 씨, 열매 등의 개념은 초등학교에서만 다루어지는 정도가 높은 개념들이다. 특히 고유도가 1로 나타난 한살이 개념은 3-4학년군에서 학습하게 되는 동물과 식물의 한살이 단원의 중심 개념이다. 교과서에서는 배추흰나비, 개구리 등 다양한 동물의 한살이를 통해 한살이에 따라 동물이 변화함과 동물에 따라 한살이가 다르다는 것을 알게 함으로써 생물의 다양성을 학습할 수 있도록 하고 있었다. 또 여러 가지 동물의 한살이와 번식 과정에서 암수의 역할이 어떻게 다른지에 대해 다룸으로써 생명의 연속성에 대한 기초적인 개념들을 제시하고 있었다.

식물의 한살이와 관련하여서는 식물이 씨앗에서 싹을 틔우고 꽃을 피워 열매를 맺기까지의 과정에서 필요한 생장의 조건들을 알아보고, 식물의 종류 따라 한살이가 다를 수 있음을 학습하도록 하고 있었다.

생김새 개념은 빈도와 고유도가 높게 나타나고 있었고, 이를 통해 초등학교에서 다루어지는 생물 내용 중 많은 부분이 관찰을 통한 구조의 이해와 형태의 비교를 통한 분류 활동과 관련되어 있음을 알 수 있다.

이상으로 초등학교 과학 교과서 생물 내용의 주요 개념 관계망에서 나타난 식물, 생물, 동물, 몸 개념을 핵심 개념으로 한 4개의 주요 개념군을 분석하였다. 분석을 통해 각 주요 개념군에 포함되고 있는 생물학의 핵심 주제가 핵심 개념을 중심으로 어떻게 연계되고 있는지 수평적 연계성을 분석한 결과는 〈그림 IV-6〉과 같다. 핵심 개념을 중심으로 생명의 6가지 특성과 생명공학의 이용, 과학 탐구 핵심 주제에 대한 내용이 모두 다루어지고 있었고, 하나의 개념군에서 여러 핵심 주제를 나타내고 있어, 내용의 통합성, 즉 수평적 연계성이 높게 나타나고 있음을 알 수 있다.

교육과정에서 제시한 내용체계를 따르고 있는 초등학교 교과서의 각 단원의 내용은 생물학의 핵심 주제에 따라 분명하게 구분되기 보다는 한 단원에서 여러 가지 주제가 복합적으로 다루어지는 특징을 보였다. 예를 들어 3-4학년군의 동물의 한살이와 생활 단원에는 생명의 연속성뿐만 아니라 생명의 다양성에 대한 내용이, 식물의 한살이와 생활에 대한 단원에서는 식물의 구조와 함께 식물이 자라는 환경과 다양한 식물에 대한 내용 등이 함께 제시되고 있었다. 이로부터 초등학교 교과서의 내용이 하나의 주제를 통해 여러 가지 생물학의 핵심 주제들을 통합적으로 다루고자 하였음을 알 수 있다. 다만 한 단원에서 여러 핵심 주제를 다루고 있기 때문에 각 핵심 주제별로 설정된 해당 단원의 학습 목표에 대해 교사가 충분히 이해하고 통합적으로 가르칠 수 있어야 할 것이다.



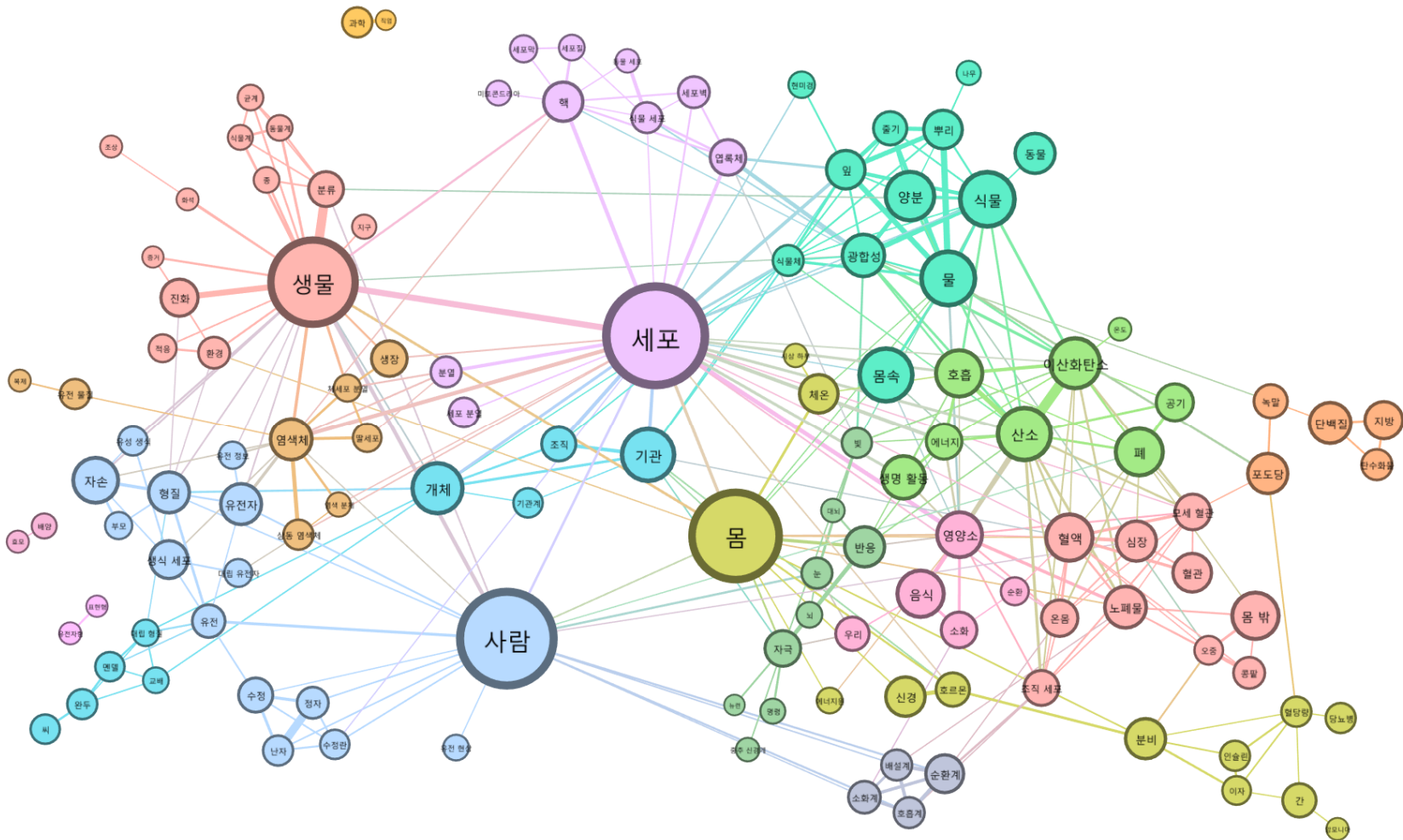
<그림 IV-6> 초등학교 과학 생물 내용의 개념 체계와 수평적 연계성

2) 중학교 과학 교과서 생물학 지식의 개념 체계와 수평적 연계성

중학교 과학 교과서에서 제시되고 있는 생물학 지식의 내용과 체계를 조사하기 위하여 주요 개념에 대한 개념 관계망을 분석하고, 그 내용의 수평적 연계성을 알아보기 위하여 관계망에 나타난 주요 개념군의 핵심 주제와 주요 개념들 사이 주요 관계를 분석하였다.

〈그림 IV-7〉은 중학교 과학 교과서 생물 내용에 대한 주요 개념 관계망이다. 중학교 교과서에는 주요 개념 328개 중 231개가 포함되고 있었다(표 IV-31). 이 주요 개념들 중 연결 가중치(관계의 빈도)가 5이상이고, 연결 정도가 1이상인 주요 관계를 형성하는 개념은 128개로 시각화 결과에는 이 개념들의 관계만 표시하였다.

중학교 교과서의 주요 개념 관계망에서는 세포, 몸, 사람, 생물 개념이 매우 높은 빈도, 연결정도, 사이중심성을 나타내었다(표 IV-38). 따라서 이 개념들이 중학교 교과서 전체의 내용을 대표하는 핵심 개념임을 알 수 있다.



Note. 노드의 크기는 각 개념의 연결정도에 비례, 연결선의 굵기는 관계의 가중치(≥ 5)에 비례, 노드의 색상은 노드의 군집에 따라 다름

<그림 IV-7> 중학교 교과서의 주요 개념 관계망

<표 IV-38> 중학교 교과서 개념 관계망의 주요 개념 (지수별 상위 30개)

빈도		연결정도		사이중심성		고유도	
개념	값	개념	값	개념	값	개념	값
세포	206	세포	116	사람	0.162	직업	0.92
생물	202	사람	109	세포	0.136	모세 혈관	0.72
사람	179	몸	100	생물	0.125	조직 세포	0.70
물	135	생물	96	몸	0.111	과학	0.68
몸	128	식물	54	식물	0.032	오줌	0.68
혈액	108	물	53	개체	0.025	태아	0.66
잎	103	산소	52	기관	0.024	기관계	0.66
식물	100	몸속	52	과학	0.020	식물체	0.66
과학	92	기관	51	물	0.020	순환계	0.65
광합성	92	이산화탄소	48	음식	0.018	배설계	0.65
염색체	88	개체	48	몸속	0.016	호흡계	0.64
영양소	85	양분	46	염색체	0.015	체세포 분열	0.63
자극	81	폐	44	태아	0.014	수정란	0.63
산소	79	혈액	43	자손	0.014	소화계	0.63
음식	78	음식	43	환경	0.014	몸 밖	0.61
형질	75	호흡	43	형질	0.013	대립 형질	0.61
뿌리	75	몸 밖	43	진화	0.013	정자	0.59
이산화탄소	69	영양소	41	당뇨병	0.013	눈	0.59
눈	66	자손	41	양분	0.013	감각	0.58
진화	64	생명 활동	38	단백질	0.012	폐	0.57
기관	63	광합성	37	혈액	0.012	완두	0.56
반응	63	염색체	36	유전자	0.011	난자	0.56
분류	61	노폐물	36	호흡	0.011	몸속	0.55
호흡	59	단백질	36	세균	0.011	영양소	0.55
유전자	59	형질	35	분류	0.011	호흡	0.54
몸속	54	유전자	35	과학자	0.010	콩팥	0.54
유전	53	반응	34	산소	0.010	수정	0.53
정자	52	분비	34	반응	0.010	반응	0.53
폐	51	심장	34	폐	0.010	자극	0.52
개체	50	포도당	34	생식	0.009	혈액	0.49

먼저 세포 개념을 중심으로 살펴보면, 세포 개념은 중학교 교과서의 생물학 개념 중 가장 높은 출현 빈도를 나타내는 개념이었고, 시각화 결과에서도 관계망의 중앙에 위치하여 관계망의 부분들을 연결하는 중심 개념이었다(그림 IV-7, 표 IV-38). 세포 개념은 중학교 과학1 교과서의 광합성 단원에서 생명을 구성하는 기본 단위로 설명되고 있었는데 세포를 중심으로 동물 세포와 식물 세포의 차이 설명하는 내용, 세포에서 시작하여 식물

체와 동물체에 이르기까지 생물의 유기적 구성 단계를 설명하는 내용에서 주요 개념으로 쓰이고 있었다.

또 과학1 교과서의 광합성 단원의 내용뿐만 아니라 과학2 교과서에서는 인체를 구성하는 각 기관계의 구조와 기능에 대한 내용에서 영양소와 에너지 개념과 근접도가 높은 주요 관계를 형성하여 물질대사 핵심 주제의 내용을 구성하고 있었다. 과학3 교과서에서는 염색체, 분열 등의 개념과 주요 관계를 형성하여 생식과 세포 분열에 대한 내용, 즉 생명의 연속성 주제에 대한 내용과 연결되고 있었다(표 IV-39).

<표 IV-39> 중학교 과학 교과서에 나타난 ‘세포’ 개념 중심의 주요 관계

개념 A: 세포, $F(A)=206$					$P(\overrightarrow{BA}) \geq 0.5$ 이고 $F(\overrightarrow{AB})$ 상위의 주요 관계				
상대 개념 (개념B)	$F(\overrightarrow{AB})$	$F(B)$	$P(\overrightarrow{AB})$	$P(\overrightarrow{BA})$	상대 개념 (개념B)	$F(\overrightarrow{AB})$	$F(B)$	$P(\overrightarrow{AB})$	$P(\overrightarrow{BA})$
생물	30	202	0.15	0.15	방추사	7	10	0.03	0.70
영양소	20	85	0.10	0.24	조직계	7	12	0.03	0.58
염색체	19	88	0.09	0.22	염색사	4	5	0.02	0.80
핵	18	49	0.09	0.37	내분비샘	4	8	0.02	0.50
에너지	17	39	0.08	0.44	혹	3	3	0.01	1.00
조직	17	27	0.08	0.63	생물 무리	3	3	0.01	1.00
엽록체	16	46	0.08	0.35	원핵생물	3	3	0.01	1.00
잎	16	103	0.08	0.16	표적 세포	3	4	0.01	0.75
분열	16	25	0.08	0.64	기본 단위	3	4	0.01	0.75
기관	15	63	0.07	0.24	생명체	3	5	0.01	0.60

$F(A)$: 개념 A를 포함하는 관계의 빈도, $F(B)$: 개념 B를 포함하는 관계의 빈도, $F(\overrightarrow{AB})$: \overrightarrow{AB} 관계의 빈도
 $P(\overrightarrow{AB})$: A개념을 중심으로 한 \overrightarrow{AB} 관계의 근접도, $P(\overrightarrow{BA})$: B개념을 중심으로 한 \overrightarrow{AB} 관계의 근접도

<그림 IV-7>에서 세포 개념의 오른쪽 위 상단에는 식물과 광합성 개념을 중심으로 한 개념군이 나타나고 있다. 이 개념군은 중학교 과학1 교과서의 광합성 단원에서 다루는 식물의 주요 기관의 구조와 기능에 대한 개념들의 관계를 보여준다. 이 관계망의 개념들은 초등학교 관계망(그림 IV-5, 표 IV-33)에서와 같이 식물의 기관을 나타내는 뿌리, 잎, 줄기 개념과 물, 양분 개념 사이에서 두꺼운 연결선이 나타나고 있었고, 이로부터 중학교 교과서에서도 식물의 구조에 관련된 내용이 초등학교에서와 같이

반복적으로 제시되고 있음을 알 수 있다. <표 IV-40>과 <표 IV-41>에서는 식물 개념과 광합성 개념이 두 개념 사이의 근접도($F(\overline{AB})$)가 각각 0.26과 0.28로 가장 높은 주요 관계 나타내었고, 식물과 광합성 개념을 중심으로 형성된 주요 관계에는 호흡 개념과의 관계가 포함되고 있어 식물의 호흡에 대한 내용과 광합성과 호흡을 관련짓는 내용이 포함되고 있음이 나타났다.

<표 IV-40> 중학교 과학 교과서에 나타난 ‘식물’ 개념 중심의 주요 관계

개념 A: 식물, $F(A)=100$					$P(\overline{BA}) \geq 0.5$ 이고 $F(\overline{AB})$ 상위의 주요 관계				
$P(\overline{AB})$ 상대 개념 (개념B)	$F(\overline{AB})$	$F(B)$	$P(\overline{AB})$	$P(\overline{BA})$	$P(\overline{BA}) \geq 0.5$ 이고 상대 개념 (개념B)	$F(\overline{AB})$	$F(B)$	$P(\overline{AB})$	$P(\overline{BA})$
광합성	26	92	0.26	0.28	종자	4	7	0.04	0.57
잎	18	103	0.18	0.17	꼭짓이	3	3	0.03	1.00
물	14	135	0.14	0.10	겉씨식물	3	4	0.03	0.75
이산화탄소	13	69	0.13	0.19	속씨식물	3	5	0.03	0.60
양분	13	46	0.13	0.28	접붙이기	2	2	0.02	1.00
호흡	11	59	0.11	0.19	떡잎	2	3	0.02	0.67
산소	10	79	0.10	0.13	씨방	2	3	0.02	0.67
빛	9	52	0.09	0.17	표피 조직계	1	2	0.01	0.50
뿌리	9	75	0.09	0.12	관다발 조직계	1	2	0.01	0.50
줄기	8	48	0.08	0.17	기본 조직계	1	2	0.01	0.50

$F(A)$: 개념 A를 포함하는 관계의 빈도, $F(B)$: 개념 B를 포함하는 관계의 빈도, $F(\overline{AB})$: \overline{AB} 관계의 빈도
 $P(\overline{AB})$: A개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도, $P(\overline{BA})$: B개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도

<표 IV-41> 중학교 과학 교과서에 나타난 ‘광합성’ 개념 중심의 주요 관계

개념 A: 광합성, $F(A)=92$					$P(\overline{BA}) \geq 0.5$ 이고 $F(\overline{AB})$ 상위의 주요 관계				
$P(\overline{AB})$ 상대 개념 (개념B)	$F(\overline{AB})$	$F(B)$	$P(\overline{AB})$	$P(\overline{BA})$	$P(\overline{BA}) \geq 0.5$ 이고 상대 개념 (개념B)	$F(\overline{AB})$	$F(B)$	$P(\overline{AB})$	$P(\overline{BA})$
식물	26	100	0.28	0.26	빛의 세기	7	14	0.08	0.50
양분	21	46	0.23	0.46	환경 요인	5	5	0.05	1.00
엽록체	19	46	0.21	0.41	올타리 조직	4	8	0.04	0.50
이산화탄소	14	69	0.15	0.20	생물 무리	2	3	0.02	0.67
빛	12	52	0.13	0.23	나뭇잎	2	4	0.02	0.50
산소	11	79	0.12	0.14	운동성	2	4	0.02	0.50
잎	10	103	0.11	0.10	MBL	1	1	0.01	1.00
호흡	9	59	0.10	0.15	쑥부쟁이	1	2	0.01	0.50
물	9	135	0.10	0.07	분류 기준	1	2	0.01	0.50
식물 세포	7	35	0.08	0.20	우산이끼	1	2	0.01	0.50

$F(A)$: 개념 A를 포함하는 관계의 빈도, $F(B)$: 개념 B를 포함하는 관계의 빈도, $F(\overline{AB})$: \overline{AB} 관계의 빈도
 $P(\overline{AB})$: A개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도, $P(\overline{BA})$: B개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도

중학교 개념 관계망의 우측 영역에는 몸 개념과 관련하여 매우 많은 개념들이 포함된 개념군들이 밀집해 나타나고 있다(그림 IV-7). 이 영역에는 중학교 과학2 교과서의 내용인 소화·순환·호흡·배설 단원과 자극과 반응 단원의 내용이 혼재하여 나타났는데, 해당 내용들이 몸(인체)를 중심으로 밀접하게 연결되고 있음을 알 수 있다(표 IV-42).

먼저 소화·순환·호흡·배설 단원의 내용을 나타내는 주요 개념들의 관계망을 살펴보면, 이 개념군에는 혈액, 영양소, 산소, 이산화탄소, 호흡, 노폐물 등의 개념을 중심으로 소화·순환·호흡·배설계의 기능에 대한 복잡한 관계망이 형성되고 있었다(그림 IV-7, 표 IV-38). 이를 통해 인체가 에너지를 얻고 사용하는 데 관련된 각 기관계의 기능에 대한 내용이 중학교에서 중요하게 다루어지고 있음을 알 수 있다. 이 개념군에서 포함되고 있는 주요 개념 중 가장 높은 빈도를 나타낸 개념은 혈액 개념이었는데(표 IV-38), 이는 우리 몸의 구조와 기능에 대한 설명에서 각 기관계를 순환하며 양분과 산소, 이산화탄소, 노폐물 등의 운반하는 혈액의 기능이 강조되고 있음을 보여준다. 또 영양소와 음식 개념 역시 하나의 개념군을 형성하는 것으로 나타나 영양소에 대한 내용이 교과서에서 중요하게 설명되고 있음을 알 수 있다(표 IV-43).

몸 개념과 밀접한 관계를 보인 또 다른 개념으로는 자극과 반응, 호르몬 개념이 중심이 된 개념군이였다. 이 개념군은 중학교 과학2 교과서의 자극과 반응 단원에 포함된 인체의 감각기관과 신경계의 구조와 기능에 대한 개념들 사이의 관계를 보여주고 있다(표 IV-44). 교과서에서는 외부로부터 주어진 자극에 적절하게 반응하여 인체가 항상성을 유지하는 것과 관련한 내용이 감각기관의 구조와 기능을 중심으로 다루어지고 있었다. 또, 체온, 혈당량, 인슐린 등의 개념은 교과서에서 신경과 호르몬에 의한 인체의 항상성 조절의 내용이 포함되고 있음을 보여준다(그림 IV-7, 표 IV-45).

<표 IV-42> 중학교 과학 교과서에 나타난 ‘몸’ 개념 중심의 주요 관계

개념 A: 몸, $F(A)=128$

$P(\overrightarrow{AB})$ 상위의 주요 관계					$P(\overrightarrow{BA}) \geq 0.5$ 이고 $F(\overrightarrow{AB})$ 상위의 주요 관계				
상대 개념 (개념B)	$F(\overrightarrow{AB})$	$F(B)$	$P(\overrightarrow{AB})$	$P(\overrightarrow{BA})$	상대 개념 (개념B)	$F(\overrightarrow{AB})$	$F(B)$	$P(\overrightarrow{AB})$	$P(\overrightarrow{BA})$
반응	15	63	0.12	0.24	몸 안	5	5	0.04	1.00
세포	14	206	0.11	0.07	평형 감각	4	6	0.03	0.67
생물	12	202	0.09	0.06	반고리관	4	6	0.03	0.67
체온	12	35	0.09	0.34	진정 기관	4	6	0.03	0.67
호르몬	9	40	0.07	0.23	무의식적	3	3	0.02	1.00
자극	8	81	0.06	0.10	바이타민	3	6	0.02	0.50
영양소	8	85	0.06	0.09	소뇌	3	6	0.02	0.50
기관	6	63	0.05	0.10	유기적	2	3	0.02	0.67
항상성	6	15	0.05	0.40	세포 호흡	2	3	0.02	0.67
신경	6	28	0.05	0.21	여과액	2	3	0.02	0.67

$F(A)$: 개념 A를 포함하는 관계의 빈도, $F(B)$: 개념 B를 포함하는 관계의 빈도, $F(\overrightarrow{AB})$: \overrightarrow{AB} 관계의 빈도
 $P(\overrightarrow{AB})$: A개념을 중심으로 한 \overrightarrow{AB} 관계의 근접도, $P(\overrightarrow{BA})$: B개념을 중심으로 한 \overrightarrow{AB} 관계의 근접도

<표 IV-43> 중학교 과학 교과서에 나타난 ‘영양소’ 개념 중심의 주요 관계

개념 A: 영양소, $F(A)=85$

$P(\overrightarrow{AB})$ 상위의 주요 관계					$P(\overrightarrow{BA}) \geq 0.5$ 이고 $F(\overrightarrow{AB})$ 상위의 주요 관계				
상대 개념 (개념B)	$F(\overrightarrow{AB})$	$F(B)$	$P(\overrightarrow{AB})$	$P(\overrightarrow{BA})$	상대 개념 (개념B)	$F(\overrightarrow{AB})$	$F(B)$	$P(\overrightarrow{AB})$	$P(\overrightarrow{BA})$
산소	21	79	0.25	0.27	용털	7	11	0.08	0.64
세포	20	206	0.24	0.10	반응2#	5	9	0.06	0.56
음식	19	78	0.22	0.24	바이타민	3	6	0.04	0.50
노폐물	15	40	0.18	0.38	암죽관	3	6	0.04	0.50
이산화탄소	14	69	0.16	0.20	검출 방법	2	2	0.02	1.00
소화	13	40	0.15	0.33	식단	2	2	0.02	1.00
물	10	135	0.12	0.07	혈액 순환	2	4	0.02	0.50
에너지	10	39	0.12	0.26	에너지	2	3	0.02	0.67
모세 혈관	8	48	0.09	0.17	땀줄	1	1	0.01	1.00
온몸	8	27	0.09	0.30					

$F(A)$: 개념 A를 포함하는 관계의 빈도, $F(B)$: 개념 B를 포함하는 관계의 빈도, $F(\overrightarrow{AB})$: \overrightarrow{AB} 관계의 빈도
 $P(\overrightarrow{AB})$: A개념을 중심으로 한 \overrightarrow{AB} 관계의 근접도, $P(\overrightarrow{BA})$: B개념을 중심으로 한 \overrightarrow{AB} 관계의 근접도

<표 IV-44> 중학교 과학 교과서에 나타난 ‘자극’ 개념 중심의 주요 관계

개념 A: 자극, $F(A)=81$					$P(\overrightarrow{BA}) \geq 0.5$ 이고 $F(\overrightarrow{AB})$ 상위의 주요 관계				
상대 개념 (개념B)	$F(\overrightarrow{AB})$	$F(B)$	$P(\overrightarrow{AB})$	$P(\overrightarrow{BA})$	상대 개념 (개념B)	$F(\overrightarrow{AB})$	$F(B)$	$P(\overrightarrow{AB})$	$P(\overrightarrow{BA})$
반응	20	63	0.25	0.32	감각 뉴런	6	9	0.07	0.67
뇌	16	38	0.20	0.42	연합 뉴런	6	11	0.07	0.55
감각 기관	14	21	0.17	0.67	액체 물질	5	6	0.06	0.83
명령	10	18	0.12	0.56	가지 돌기	5	7	0.06	0.71
뉴런	8	13	0.10	0.62	맞세포	5	8	0.06	0.62
몸	8	128	0.10	0.06	기체 물질	4	4	0.05	1.00
빛	7	52	0.09	0.13	축삭 돌기	4	6	0.05	0.67
반사	7	13	0.09	0.54	후각세포	4	6	0.05	0.67
기관	6	63	0.07	0.10	감각점	4	7	0.05	0.57
중추 신경계	6	19	0.07	0.32	청각 신경	4	7	0.05	0.57

$F(A)$: 개념 A를 포함하는 관계의 빈도, $F(B)$: 개념 B를 포함하는 관계의 빈도, $F(\overrightarrow{AB})$: \overrightarrow{AB} 관계의 빈도
 $P(\overrightarrow{AB})$: A개념을 중심으로 한 \overrightarrow{AB} 관계의 근접도, $P(\overrightarrow{BA})$: B개념을 중심으로 한 \overrightarrow{AB} 관계의 근접도

<표 IV-45> 중학교 과학 교과서에 나타난 ‘호르몬’ 개념 중심의 주요 관계

개념 A: 호르몬, $F(A)=40$					$P(\overrightarrow{BA}) \geq 0.5$ 이고 $F(\overrightarrow{AB})$ 상위의 주요 관계				
상대 개념 (개념B)	$F(\overrightarrow{AB})$	$F(B)$	$P(\overrightarrow{AB})$	$P(\overrightarrow{BA})$	상대 개념 (개념B)	$F(\overrightarrow{AB})$	$F(B)$	$P(\overrightarrow{AB})$	$P(\overrightarrow{BA})$
신경	20	28	0.50	0.71	몸 안	3	5	0.07	0.60
분비	12	44	0.30	0.27	임신 진단 시약	2	3	0.05	0.67
신호	9	14	0.23	0.64	신호 전달	1	1	0.03	1.00
몸	9	128	0.23	0.07	표적 기관	1	1	0.03	1.00
내분비샘	7	8	0.17	0.88	티록신 분비	1	2	0.03	0.50
기관	7	63	0.17	0.11	부신	1	2	0.03	0.50
항상성	7	15	0.17	0.47					
세포	6	206	0.15	0.03					
표적 세포	4	4	0.10	1.00					
혈당량	4	27	0.10	0.15					

$F(A)$: 개념 A를 포함하는 관계의 빈도, $F(B)$: 개념 B를 포함하는 관계의 빈도, $F(\overrightarrow{AB})$: \overrightarrow{AB} 관계의 빈도
 $P(\overrightarrow{AB})$: A개념을 중심으로 한 \overrightarrow{AB} 관계의 근접도, $P(\overrightarrow{BA})$: B개념을 중심으로 한 \overrightarrow{AB} 관계의 근접도

다음 개념 군집은 개념 관계망에서 세포 개념을 중심으로 좌측 하단에 나타난 군집이었다(그림 IV-7). 이 군집은 중학교 과학3 교과서 생식과 발생 단원의 내용과 유전 단원의 내용을 보여준다. 이 군집에는 사람 개념이 정자, 난자, 태아, 유전 등의 주요 개념과 같은 그룹으로 묶이고 있었

다(표 IV-38, 표 IV-46). 사람 개념과 염색체 개념을 중심으로 한 주요 관계 분석 결과에서는 $P(\overline{BA})$ 가 높게 나타나고 있는 주요 관계들이 사람의 유전 형질과 사람의 세포 분열과 관련된 개념들과의 관계로 나타나고 있었다(표 IV-46, 표 IV-47). 이는 중학교 교과서에서는 생식과 발생, 유전의 내용이 주로 사람을 중심으로 다루어지고 있음을 나타낸다. 사람 개념과 함께 생명의 연속성과 관련된 개념인 염색체, 형질, 유전자 등의 개념들이 군집을 형성한 이 군집에는 부모의 형질이 자손에게 전달되는 유전에 대한 내용과 세포 분열에 대한 내용, 멘델의 유전 원리와 관련된 내용, 생식 방법을 나타내는 내용 등이 포함되고 있었다(표 IV-48).

한편, 사람 개념은 중학교 교과서에서 다른 개념들과의 연결 정도가 가장 높은 개념일 뿐만 아니라 사이 중심성도 가장 높은 개념으로 나타나(표 IV-38) 같은 그룹에 속해있는 생명의 연속성 관련 개념들 외에도 생물, 세포, 순환계, 호흡계, 몸 등의 다른 그룹의 주요 개념들과도 두루 관계를 형성하고 있음을 볼 수 있었다(표 IV-46). 이를 통해 중학교 교과서에서 다루어지는 많은 생물학 내용들이 사람과 연관되어 설명되고 있음을 알 수 있다.

<표 IV-46> 중학교 과학 교과서에 나타난 ‘사람’ 개념 중심의 주요 관계

개념 A: 사람, $F(A)=179$					$P(\overline{BA}) \geq 0.5$ 이고 $F(\overline{AB})$ 상위의 주요 관계				
$P(\overline{AB})$ 상위의 주요 관계					$P(\overline{BA}) \geq 0.5$ 이고 $F(\overline{AB})$ 상위의 주요 관계				
상대 개념 (개념B)	$F(\overline{AB})$	$F(B)$	$P(\overline{AB})$	$P(\overline{BA})$	상대 개념 (개념B)	$F(\overline{AB})$	$F(B)$	$P(\overline{AB})$	$P(\overline{BA})$
생물	18	202	0.10	0.09	초파리	5	8	0.03	0.62
형질	13	75	0.07	0.17	쌍둥이	4	6	0.02	0.67
유전	13	53	0.07	0.25	날개	4	8	0.02	0.50
세포	12	206	0.07	0.06	침팬지	3	3	0.02	1.00
눈	10	66	0.06	0.15	허말기	3	4	0.02	0.75
순환계	9	36	0.05	0.25	눈꺼풀	3	4	0.02	0.75
호흡계	9	29	0.05	0.31	귀	3	4	0.02	0.75
유전자	8	59	0.04	0.14	가계도 조사	3	4	0.02	0.75
몸	7	128	0.04	0.05	보조개	3	4	0.02	0.75
정자	7	52	0.04	0.13	23쌍	2	2	0.01	1.00

$F(A)$: 개념 A를 포함하는 관계의 빈도, $F(B)$: 개념 B를 포함하는 관계의 빈도, $F(\overline{AB})$: \overline{AB} 관계의 빈도
 $P(\overline{AB})$: A개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도, $P(\overline{BA})$: B개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도

<표 IV-47> 중학교 과학 교과서에 나타난 ‘염색체’ 개념 중심의 주요 관계

개념 A: 염색체, $F(A)=88$

$P(\overline{AB})$ 상위의 주요 관계					$P(\overline{BA}) \geq 0.5$ 이고 $F(\overline{AB})$ 상위의 주요 관계				
상대 개념 (개념B)	$F(\overline{AB})$	$F(B)$	$P(\overline{AB})$	$P(\overline{BA})$	상대 개념 (개념B)	$F(\overline{AB})$	$F(B)$	$P(\overline{AB})$	$P(\overline{BA})$
상동 염색체	19	30	0.22	0.63	염색사	5	5	0.06	1.00
세포	19	206	0.22	0.09	핵막	4	4	0.05	1.00
유전자	14	59	0.16	0.24	감수 1분열 전기	4	5	0.05	0.80
딸세포	14	24	0.16	0.58	복제	4	8	0.05	0.50
생물	14	202	0.16	0.07	중기	4	8	0.05	0.50
체세포 분열	11	44	0.12	0.25	23쌍	2	2	0.02	1.00
염색 분체	11	17	0.12	0.65	46개	2	2	0.02	1.00
생식 세포 분열	10	32	0.11	0.31	1회 분열	2	2	0.02	1.00
유전 정보	8	17	0.09	0.47	연속 2회 분열	2	2	0.02	1.00
방추사	8	10	0.09	0.80					

$F(A)$: 개념 A를 포함하는 관계의 빈도, $F(B)$: 개념 B를 포함하는 관계의 빈도, $F(\overline{AB})$: \overline{AB} 관계의 빈도
 $P(\overline{AB})$: A개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도, $P(\overline{BA})$: B개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도

<표 IV-48> 중학교 과학 교과서에 나타난 ‘유전자’ 개념 중심의 주요 관계

개념 A: 유전자, $F(A)=59$

$P(\overline{AB})$ 상위의 주요 관계					$P(\overline{BA}) \geq 0.5$ 이고 $F(\overline{AB})$ 상위의 주요 관계				
상대 개념 (개념B)	$F(\overline{AB})$	$F(B)$	$P(\overline{AB})$	$P(\overline{BA})$	상대 개념 (개념B)	$F(\overline{AB})$	$F(B)$	$P(\overline{AB})$	$P(\overline{BA})$
염색체	14	88	0.24	0.16	반성 유전	3	4	0.05	0.75
형질	8	75	0.14	0.11	우열 관계	3	5	0.05	0.60
유전 정보	8	17	0.14	0.47	해독	2	2	0.03	1.00
사람	8	179	0.14	0.04	생명 현상	2	3	0.03	0.67
생물	7	202	0.12	0.03	침팬지	2	3	0.03	0.67
초파리	7	8	0.12	0.88	상염색체	2	4	0.03	0.50
X 염색체	5	10	0.08	0.50	멘델 법칙	2	4	0.03	0.50
유전	5	53	0.08	0.09	돌연변이 형질	1	1	0.02	1.00
과학자	4	23	0.07	0.17	초파리 돌연변이	1	1	0.02	1.00
쥐	4	4	0.07	1.00	혈액형	1	1	0.02	1.00

$F(A)$: 개념 A를 포함하는 관계의 빈도, $F(B)$: 개념 B를 포함하는 관계의 빈도, $F(\overline{AB})$: \overline{AB} 관계의 빈도
 $P(\overline{AB})$: A개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도, $P(\overline{BA})$: B개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도

마지막 주요 개념군은 ‘생물’ 개념을 중심으로 한 개념군이였다. 중학교 교과서의 개념 중 빈도가 두 번째로 높은 개념으로 나타난 ‘생물’ 개념은 분류, 진화 주요 개념과 하나의 그룹으로 묶여 과학3 교과서에서 다루어지는 진화 단원에 포함된 개념들과 주로 관계를 형성하였다(그림 IV-7). 하

지만 생물 개념은 빈도 뿐만 아니라 사람, 세포 개념과 같이 높은 연결 정도와 사이중심성을 보여 다른 개념군과도 다양한 관계를 형성하는 개념임을 알 수 있다(표 IV-38, 표 IV-49). 이 개념군의 주요 개념은 5계 분류 체계를 중심으로 한 분류 개념과 화석을 중심으로 한 진화의 증거와 원리에 대한 내용이 다루어지고 있음을 보여준다(표 IV-49 ~ 표 IV-51).

<표 IV-49> 중학교 과학 교과서에 나타난 ‘생물’ 개념 중심의 주요 관계

개념 A: 생물, $F(A)=202$					$P(\overrightarrow{BA}) \geq 0.6$ 이고 $F(\overrightarrow{AB})$ 상위의 주요 관계				
상대 개념 (개념B)	$F(\overrightarrow{AB})$	$F(B)$	$P(\overrightarrow{AB})$	$P(\overrightarrow{BA})$	상대 개념 (개념B)	$F(\overrightarrow{AB})$	$F(B)$	$P(\overrightarrow{AB})$	$P(\overrightarrow{BA})$
분류	46	61	0.23	0.75	증거	10	14	0.05	0.71
진화	32	64	0.16	0.50	화석	10	15	0.05	0.67
세포	30	206	0.15	0.15	균계	9	13	0.04	0.69
사람	18	179	0.09	0.10	5계	7	7	0.03	1.00
염색체	14	88	0.07	0.16	원생생물계	7	10	0.03	0.70
동물계	12	18	0.06	0.67	원핵생물계	6	10	0.03	0.60
몸	12	128	0.06	0.09	계\$	5	6	0.02	0.83
식물계	12	17	0.06	0.71	과\$	5	7	0.02	0.71
체세포 분열	12	44	0.06	0.27	조상	5	8	0.02	0.62
중	11	16	0.05	0.69	계통수	3	3	0.01	1.00

$F(A)$: 개념 A를 포함하는 관계의 빈도, $F(B)$: 개념 B를 포함하는 관계의 빈도, $F(\overrightarrow{AB})$: \overrightarrow{AB} 관계의 빈도
 $P(\overrightarrow{AB})$: A개념을 중심으로 한 \overrightarrow{AB} 관계의 근접도, $P(\overrightarrow{BA})$: B개념을 중심으로 한 \overrightarrow{AB} 관계의 근접도

<표 IV-50> 중학교 과학 교과서에 나타난 ‘진화’ 개념 중심의 주요 관계

개념 A: 진화, $F(A)=64$					$P(\overrightarrow{BA}) \geq 0.5$ 이고 $F(\overrightarrow{AB})$ 상위의 주요 관계				
상대 개념 (개념B)	$F(\overrightarrow{AB})$	$F(B)$	$P(\overrightarrow{AB})$	$P(\overrightarrow{BA})$	상대 개념 (개념B)	$F(\overrightarrow{AB})$	$F(B)$	$P(\overrightarrow{AB})$	$P(\overrightarrow{BA})$
생물	32	202	0.50	0.16	돌연변이	4	8	0.06	0.50
환경	8	37	0.12	0.22	용불용설	3	4	0.05	0.75
증거	7	14	0.11	0.50	격리설	2	2	0.03	1.00
다윈	6	8	0.09	0.75	돌연변이설	2	2	0.03	1.00
형질	5	75	0.08	0.07	부리 모양	2	3	0.03	0.67
적응	5	13	0.08	0.38	다양성	2	3	0.03	0.67
자연선택설	5	6	0.08	0.83	유전학	2	3	0.03	0.67
돌연변이	4	8	0.06	0.50	경쟁	2	3	0.03	0.67
격리	4	4	0.06	1.00	라마르크	2	3	0.03	0.67
조상	4	8	0.06	0.50	핀치	2	4	0.03	0.50

$F(A)$: 개념 A를 포함하는 관계의 빈도, $F(B)$: 개념 B를 포함하는 관계의 빈도, $F(\overrightarrow{AB})$: \overrightarrow{AB} 관계의 빈도
 $P(\overrightarrow{AB})$: A개념을 중심으로 한 \overrightarrow{AB} 관계의 근접도, $P(\overrightarrow{BA})$: B개념을 중심으로 한 \overrightarrow{AB} 관계의 근접도

<표 IV-51> 중학교 과학 교과서에 나타난 ‘분류’ 개념 중심의 주요 관계

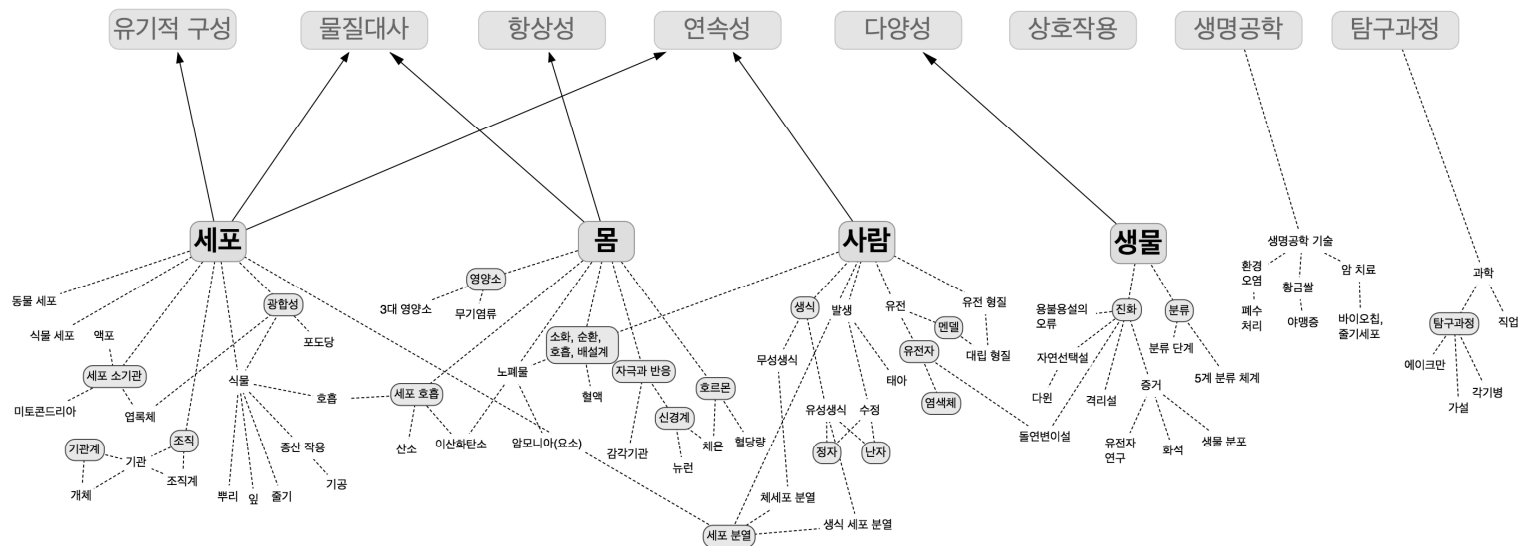
개념 A: 분류, $F(A)=61$

$P(\overline{AB})$ 상위의 주요 관계					$P(\overline{BA}) \geq 0.5$ 이고 $F(\overline{AB})$ 상위의 주요 관계				
상대 개념 (개념B)	$F(\overline{AB})$	$F(B)$	$P(\overline{AB})$	$P(\overline{BA})$	상대 개념 (개념B)	$F(\overline{AB})$	$F(B)$	$P(\overline{AB})$	$P(\overline{BA})$
생물	46	202	0.75	0.23	원핵생물계	5	10	0.08	0.50
동물계	9	18	0.15	0.50	원생생물계	5	10	0.08	0.50
중	8	16	0.13	0.50	속씨식물	3	5	0.05	0.60
사람	7	179	0.11	0.04	고양이속	2	2	0.03	1.00
식물계	7	17	0.11	0.41	식육목	2	2	0.03	1.00
균계	6	13	0.10	0.46	척삭동물문	2	2	0.03	1.00
5계	6	7	0.10	0.86	포유강	2	2	0.03	1.00
식물	6	100	0.10	0.06	고양잇과	2	2	0.03	1.00
목\$	5	7	0.08	0.71	씨방	2	3	0.03	0.67
과\$	5	7	0.08	0.71	겉씨식물	2	4	0.03	0.50

$F(A)$: 개념 A를 포함하는 관계의 빈도, $F(B)$: 개념 B를 포함하는 관계의 빈도, $F(\overline{AB})$: \overline{AB} 관계의 빈도
 $P(\overline{AB})$: A개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도, $P(\overline{BA})$: B개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도

이상의 주요 개념군 이외에 <표 IV-38>에서 고유도가 높은 개념으로 나타나고 있는 과학, 직업 등의 주요 개념은 중학교 과학1 교과서의 ‘과학이란?’단원에서 다루어지고 있는 내용과 관련된 개념이다. 교과서의 해당 단원에서는 과학 탐구과정에 대해 에이크만의 각기병 실험을 예로 들어 설명하고 있었고, 과학 관련 직업에 대한 내용을 다루고 있었다. 하지만 그 강조 정도가 낮아 시각화 결과에서는 뚜렷한 개념군을 형성하지 못하였다(그림 IV-7).

이상의 분석을 통해 중학교 교과서에서는 세포 개념을 중심으로 생물의 유기적 구성에 대한 내용, 식물의 광합성과 인체(몸)의 소화·순환·호흡·배설을 중심으로 물질대사에 대한 내용, 자극과 반응 개념을 중심으로 생명의 항상성, 사람 개념을 중심으로 생식과 발생, 유전에 대한 생명의 연속성 관련 내용, 생물 개념을 중심으로 생물의 진화와 다양성에 대한 내용이 다루어지고 있음을 알 수 있었다. 이 내용들이 세포, 몸, 사람, 생물의 핵심 개념을 중심으로 서로 연계되고 있었고, 특히 세포 개념은 생물의 유기적 구성과 물질대사, 연속성 주제를 연결하는 핵심 개념으로 나타나고 있었다. 생물의 상호작용에 대한 핵심 주제는 다루어지지 않고 있었다(그림 IV-8).



<그림 IV-8> 중학교 과학 생물 내용의 개념 체계와 수평적 연계성

3) 고등학교 과학 교과서 생물학 지식의 개념 체계와 수평적 연계성

선택교육과정인 고등학교 과학의 경우 교육과정에서는 생명과학 영역의 단원으로 생명의 진화 단원에서 다루고 있는 생명의 탄생, 생명의 진화, 생명의 연속성에 대한 내용만을 교육과정 내용 체계에 포함시켜 제시하고 있다. 하지만 인류의 건강과 과학 기술 단원과 에너지와 환경 단원의 일부 내용도 생명과학 영역과 밀접한 내용을 다루고 있었기 때문에 해당 단원의 내용도 분석 대상으로 포함시켜 분석을 수행하였다.

고등학교 과학 교과서에서 제시되고 있는 생물학 지식의 내용과 체계를 알아보기 위해 주요 개념 관계망을 분석하였고, 이를 바탕으로 관계망에 나타난 주요 개념군의 핵심 주제와 주요 개념들 사이 주요 관계를 분석하여 내용의 수평적 연계성을 알아보았다.

고등학교 과학 교과서 생명 영역의 내용에 포함된 255개(표 IV-31)의 주요 개념들의 관계를 보여주는 요약된 개념 관계망은 주요 개념 간 관계의 빈도가 5 이상이고, 연결된 개념의 수가 1개 이상인 개념들만을 포함하여 시각화 하였다(그림 IV-9).

<표 IV-52> 고등학교 과학 교과서의 주요 개념 (지수별 상위 30개)

빈도		연결정도		사이중심성		고유도	
개념	값	개념	값	개념	값	개념	값
생물	117	생물	95	사람	0.096	육종	1.00
물	104	사람	94	생물	0.084	CT	1.00
세포	98	세포	91	세포	0.079	건강 검진	1.00
사람	96	물	85	유전자	0.062	MRI	0.89
진화	75	유전자	69	물	0.053	암	0.86
단백질	73	단백질	67	진화	0.036	원시 세포	0.80
암	73	식물	66	DNA	0.035	품종	0.79
유기물	71	에너지	65	단백질	0.034	원시 지구	0.70
질병	65	진화	64	에너지	0.032	무기물	0.69
산소	63	생명체	61	세균	0.032	지질	0.69
염색체	63	DNA	59	식물	0.031	질소	0.68
생명체	62	산소	57	생장	0.026	탄소	0.67
유전자	61	유기물	56	생명체	0.026	화합물	0.67
이산화탄소	60	이산화탄소	54	동물	0.020	남세균	0.67
DNA	59	동물	52	조직	0.020	대기 중	0.66
에너지	54	몸	51	산소	0.019	신체	0.60
식물	54	영양소	51	혈액	0.019	지층	0.58
광합성	51	생장	51	핵	0.018	진단	0.56
지구	49	질병	48	빛	0.018	생명체	0.51
화석	49	세균	48	질병	0.017	유기물	0.48
몸	45	탄수화물	46	몸	0.016	수소	0.47
영양소	44	포도당	46	광합성	0.016	순환2#	0.47
환경	42	광합성	45	지구	0.015	변성	0.46
세균	38	핵	44	영양소	0.015	암모니아	0.46
식품	38	조직	43	이산화탄소	0.015	탄수화물	0.44
진단	35	염색체	42	포도당	0.013	에너지원	0.44
음식	34	지구	40	생존	0.012	화석	0.44
탄소	33	우리	40	자손	0.012	종속 영양 생물	0.41
원시 지구	32	개체	40	유기물	0.012	바다	0.40
탄수화물	32	암	37	탄수화물	0.011	암세포	0.39

고등학교 교과서의 주요 개념 관계망에는 생물, 세포, 사람, 단백질, 암, 질병, 진화, 유기물, 염색체, 유전자, DNA 등의 개념이 중심성이 높은 개념으로 나타났다(표 IV-52). 이 주요 개념들을 중심으로 크게 5개의 개념군이 형성되는 것은 알 수 있었고, 각 군집이 나타내는 의미를 분석한 결과는 다음과 같다.

먼저 개념 관계망의 중앙에 위치한 개념군은 세포, 단백질, 유기물, DNA등의 주요 개념을 포함한 개념군이였다(그림 IV-9). 이 개념군은 교과서의 생명의 탄생 중단원의 내용을 나타낸다. 이 개념군에 포함된 세포, 원시 세포, 생명 등의 주요 개념은 진화 개념과 두꺼운 연결을 나타내고 있었다(표 IV-53). 이 관계들을 통해 알 수 있듯이 교과서에서는 이 개념군이 형성하고 있는 관계를 중심으로 원시 지구에서 화학적 진화를 통해 다양한 유기물과 단백질들 지질 성분의 세포막 구조로 둘러싸여 원시세포가 생성된 과정, 그리고 원시세포가 유기물을 분해하여 에너지를 획득하는 능력을 가진 세포로 진화하여 생명이 탄생하게 된 과정이 설명되고 있었다.

<표 IV-53> 고등학교 과학 교과서에 나타난 ‘세포’ 개념 중심의 주요 관계

개념 A: 세포, $F(A)=98$					$P(\overline{BA}) \geq 0.5$ 이고 $F(\overline{AB})$ 상위의 주요 관계				
$P(\overline{AB})$ 상위 개념 (개념B)	$F(\overline{AB})$	$F(B)$	$P(\overline{AB})$	$P(\overline{BA})$	$P(\overline{BA}) \geq 0.5$ 이고 상대 개념 (개념B)	$F(\overline{AB})$	$F(B)$	$P(\overline{AB})$	$P(\overline{BA})$
에너지	12	54	0.12	0.22	염색액	3	3	0.03	1.00
핵	10	25	0.10	0.40	세포 소멸	3	4	0.03	0.75
진화	9	75	0.09	0.12	현미경	3	6	0.03	0.50
생물	9	117	0.09	0.08	2배체	2	2	0.02	1.00
DNA	8	59	0.08	0.14	생물 분자	2	2	0.02	1.00
염색체	7	63	0.07	0.11	공생설	2	2	0.02	1.00
생명체	7	62	0.07	0.11	단세포	2	3	0.02	0.67
세포막	7	27	0.07	0.26	식물 세포	2	3	0.02	0.67
유기물	6	71	0.06	0.08	신경	2	4	0.02	0.50
원시 세포	6	24	0.06	0.25	세포 소기관	2	4	0.02	0.50

$F(A)$: 개념 A를 포함하는 관계의 빈도, $F(B)$: 개념 B를 포함하는 관계의 빈도, $F(\overline{AB})$: \overline{AB} 관계의 빈도
 $P(\overline{AB})$: A개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도, $P(\overline{BA})$: B개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도

이 개념군에서 탄수화물, 단백질, 지질, DNA 등 세포의 구성과 생명 현상에 필요한 기본 물질을 나타내는 개념들은 두꺼운 연결선으로 나타나 함께 등장하는 빈도가 높음을 알 수 있다(표 IV-54). 또 이 개념군에 속한 개념 중 원시 세포, 원시 지구, 무기물 등의 개념은 고유도가 높게 나타나고 있었는데(표 IV-52), 이를 통해 이 개념군이 나타나고 있는 생명의 기원과 화학적 진화의 내용이 고등학교 과학 교과서에서 집중적으로 다

루어지는 내용임을 알 수 있다. DNA개념의 경우 화학적 진화와 관련된 개념들과 많이 쓰여 이 개념군에 포함되는 개념으로 분석되었다(그림 IV-9). 그러나 DNA 개념은 유전자, 염색체 개념과도 가깝게 위치하여 생명의 연속성을 나타내는 개념군과도 연결되고 있었다(그림 IV-9, 표 IV-55, 표 IV-59).

<표 IV-54> 고등학교 과학 교과서에 나타난 ‘단백질’ 개념 중심의 주요 관계

개념 A: 단백질, $F(A)=73$					$P(\overrightarrow{BA}) \geq 0.5$ 이고 $F(\overrightarrow{AB})$ 상위의 주요 관계				
$P(\overrightarrow{AB})$ 상위의 주요 관계					$P(\overrightarrow{BA}) \geq 0.5$ 이고 $F(\overrightarrow{AB})$ 상위의 주요 관계				
상대 개념 (개념B)	$F(\overrightarrow{AB})$	$F(B)$	$P(\overrightarrow{AB})$	$P(\overrightarrow{BA})$	상대 개념 (개념B)	$F(\overrightarrow{AB})$	$F(B)$	$P(\overrightarrow{AB})$	$P(\overrightarrow{BA})$
지질	18	27	0.25	0.67	인지질 2중층	5	5	0.07	1.00
유기물	14	71	0.19	0.20	핵산	3	6	0.04	0.50
탄수화물	13	32	0.18	0.41	번역	2	2	0.03	1.00
DNA	13	59	0.18	0.22	아미노산 서열	2	2	0.03	1.00
아미노산	12	26	0.16	0.46	호르몬	2	3	0.03	0.67
생명체	9	62	0.12	0.15	3대 영양소	2	3	0.03	0.67
세포막	9	27	0.12	0.33	렙타이드 결합	2	3	0.03	0.67
유전자	8	61	0.11	0.13					
세포	6	98	0.08	0.06					
RNA	5	11	0.07	0.45					

$F(A)$: 개념 A를 포함하는 관계의 빈도, $F(B)$: 개념 B를 포함하는 관계의 빈도, $F(\overrightarrow{AB})$: \overrightarrow{AB} 관계의 빈도
 $P(\overrightarrow{AB})$: A개념을 중심으로 한 \overrightarrow{AB} 관계의 근접도, $P(\overrightarrow{BA})$: B개념을 중심으로 한 \overrightarrow{AB} 관계의 근접도

<표 IV-55> 고등학교 과학 교과서에 나타난 ‘DNA’ 개념 중심의 주요 관계

개념 A: DNA, $F(A)=59$					$P(\overrightarrow{BA}) \geq 0.5$ 이고 $F(\overrightarrow{AB})$ 상위의 주요 관계				
$P(\overrightarrow{AB})$ 상위의 주요 관계					$P(\overrightarrow{BA}) \geq 0.5$ 이고 $F(\overrightarrow{AB})$ 상위의 주요 관계				
상대 개념 (개념B)	$F(\overrightarrow{AB})$	$F(B)$	$P(\overrightarrow{AB})$	$P(\overrightarrow{BA})$	상대 개념 (개념B)	$F(\overrightarrow{AB})$	$F(B)$	$P(\overrightarrow{AB})$	$P(\overrightarrow{BA})$
단백질	13	73	0.22	0.18	염기 서열	3	6	0.05	0.50
유전 정보	9	27	0.15	0.33	2중 나선	2	2	0.03	1.00
유전자	9	61	0.15	0.15	단백질 합성	2	2	0.03	1.00
RNA	8	11	0.14	0.73	전사	2	2	0.03	1.00
세포	8	98	0.14	0.08	왓슨	2	3	0.03	0.67
유전 물질	8	23	0.14	0.35	크릭	2	3	0.03	0.67
핵	7	25	0.12	0.28	티민	2	4	0.03	0.50
뉴클레오타이드	6	17	0.10	0.35	에이버리	1	1	0.02	1.00
생명체	5	62	0.08	0.08	염색사	1	1	0.02	1.00
염색체	5	63	0.08	0.08	번역	1	2	0.02	0.50

$F(A)$: 개념 A를 포함하는 관계의 빈도, $F(B)$: 개념 B를 포함하는 관계의 빈도, $F(\overrightarrow{AB})$: \overrightarrow{AB} 관계의 빈도
 $P(\overrightarrow{AB})$: A개념을 중심으로 한 \overrightarrow{AB} 관계의 근접도, $P(\overrightarrow{BA})$: B개념을 중심으로 한 \overrightarrow{AB} 관계의 근접도

두 번째 개념군은 생물, 진화, 화석, 환경 등의 개념을 중심으로 한 개념군으로 생명의 진화에 대한 내용을 보여주는 개념군이다(그림 IV-9, 표 IV-56). 이 개념군에 포함된 진화 개념을 중심으로 주요 관계를 형성하고 있는 개념들은 세포의 구성과 화학적 진화의 내용을 나타내는 첫 번째 개념군에 속한 개념들이 많아 진화 개념이 두 개념군의 의미를 연결하고 있음을 알 수 있다(표 IV-57).

고등학교 과학 교과서에서 빈도가 가장 높고, 중심성도 높게 나타난 생물 개념(표 IV-52)을 중심으로 주요 관계를 형성하는 주요 개념 대부분이 진화와 관련된 개념들로 나타나 생물의 진화가 고등학교 과학 교과서 생물 영역의 중심적 내용임을 알 수 있다(표 IV-56). 이와 관련하여 교과서에서는 지구의 지질 시대, 화석, 환경 등의 개념을 주요 개념으로 하여 지구의 역사에서 일어난 생물의 진화와 그 증거에 대한 내용이 다루어지고 있었다.

<표 IV-56> 고등학교 과학 교과서에 나타난 ‘생물’ 개념 중심의 주요 관계

개념 A: 생물, $F(A)=117$					$P(\overrightarrow{BA}) \geq 0.5$ 이고 $F(\overrightarrow{AB})$ 상위의 주요 관계				
상대 개념 (개념B)	$F(\overrightarrow{AB})$	$F(B)$	$P(\overrightarrow{AB})$	$P(\overrightarrow{BA})$	상대 개념 (개념B)	$F(\overrightarrow{AB})$	$F(B)$	$P(\overrightarrow{AB})$	$P(\overrightarrow{BA})$
화석	14	49	0.12	0.29	서식	5	9	0.04	0.56
환경	14	42	0.12	0.33	대륙	4	5	0.03	0.80
지구	13	49	0.11	0.27	멸종	4	7	0.03	0.57
진화	11	75	0.09	0.15	적응	4	8	0.03	0.50
세포	9	98	0.08	0.09	자연 환경	3	4	0.03	0.75
생태계	9	25	0.08	0.36	환경 변화	3	6	0.03	0.50
형질	7	31	0.06	0.23	종의 분화	2	2	0.02	1.00
생존	7	13	0.06	0.54	표현형	2	2	0.02	1.00
변성	7	16	0.06	0.44	생존 경쟁	2	2	0.02	1.00
유기물	6	71	0.05	0.08	먹이 사슬	2	3	0.02	0.67

$F(A)$: 개념 A를 포함하는 관계의 빈도, $F(B)$: 개념 B를 포함하는 관계의 빈도, $F(\overrightarrow{AB})$: \overrightarrow{AB} 관계의 빈도
 $P(\overrightarrow{AB})$: A개념을 중심으로 한 \overrightarrow{AB} 관계의 근접도, $P(\overrightarrow{BA})$: B개념을 중심으로 한 \overrightarrow{AB} 관계의 근접도

<표 IV-57> 고등학교 과학 교과서에 나타난 ‘진화’ 개념 중심의 주요 관계

개념 A: 진화, $F(A)=75$

$P(\overline{AB})$ 상위의 주요 관계					$P(\overline{BA}) \geq 0.5$ 이고 $F(\overline{AB})$ 상위의 주요 관계				
상대 개념 (개념B)	$F(\overline{AB})$	$F(B)$	$P(\overline{AB})$	$P(\overline{BA})$	상대 개념 (개념B)	$F(\overline{AB})$	$F(B)$	$P(\overline{AB})$	$P(\overline{BA})$
원시 세포	11	24	0.15	0.46	적응	5	8	0.07	0.62
생물	11	117	0.15	0.09	공생	2	2	0.03	1.00
세포	9	98	0.12	0.09	자기 복제 능력	2	2	0.03	1.00
생명	9	30	0.12	0.30	종의 분화	2	2	0.03	1.00
생물학적 종	9	22	0.12	0.41	공통 조상	2	3	0.03	0.67
원시 생명체	8	18	0.11	0.44	광합성 생물	2	3	0.03	0.67
생명체	8	62	0.11	0.13	집단	2	4	0.03	0.50
유기물	6	71	0.08	0.08	자연 환경	2	4	0.03	0.50
다세포 생물	6	17	0.08	0.35	갈라파고스	2	4	0.03	0.50
환경	6	42	0.08	0.14	격리	1	1	0.01	1.00

$F(A)$: 개념 A를 포함하는 관계의 빈도, $F(B)$: 개념 B를 포함하는 관계의 빈도, $F(\overline{AB})$: \overline{AB} 관계의 빈도
 $P(\overline{AB})$: A개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도, $P(\overline{BA})$: B개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도

세 번째 개념군은 염색체와 유전자 개념을 중심으로 생명의 연속성에 대한 내용을 나타내는 개념군이였다. 이 개념군이 나타내고 있는 고등학교 과학의 생명의 연속성 중단원에서는 염색체 개념을 중심으로 세포 분열과 생식을 통한 유전자의 전달 과정에 대한 내용이 다루어지고 있었다. 이 개념군의 관계망은 교과서에서 유성 생식을 하는 생물이 감수 분열을 통해 생식세포(정자, 난자)를 만들고, 이 생식 세포가 수정됨으로써 자손 세대에서 부모 세대와 같은 수의 염색체 수가 유지되는 원리가 강조되고 있음을 보여 준다(그림 IV-9, 표 IV-58).

또 첫 번째 개념군에 포함된 DNA 개념과 함께, 염색체를 구성하는 DNA의 한 부분인 유전자가 염기의 서열로 단백질을 암호화함으로써 생물의 형질이 결정됨을 의미하는 내용을 보여주는 관계도 나타났다. 유전자 개념과 관련해서는 생명공학 기술을 이용하여 유전자를 조작하고, 이를 통해 품종 개량과 육종이 가능함을 설명하는 내용이 교과서에 포함되고 있음을 알 수 있었다(표 IV-59).

<표 IV-58> 고등학교 과학 교과서에 나타난 ‘염색체’ 개념 중심의 주요 관계

개념 A: 염색체, $F(A)=63$					$P(\overrightarrow{BA}) \geq 0.5$ 이고 $F(\overrightarrow{AB})$ 상위의 주요 관계				
$P(\overrightarrow{AB})$ 상대 개념 (개념B)	$F(\overrightarrow{AB})$	$F(B)$	$P(\overrightarrow{AB})$	$P(\overrightarrow{BA})$	$P(\overrightarrow{BA}) \geq 0.5$ 이고 상대 개념 (개념B)	$F(\overrightarrow{AB})$	$F(B)$	$P(\overrightarrow{AB})$	$P(\overrightarrow{BA})$
유전자	14	61	0.22	0.23	응축	4	4	0.06	1.00
사람	9	96	0.14	0.09	23개	3	3	0.05	1.00
정자	7	19	0.11	0.37	감수 2분열	3	4	0.05	0.75
세포	7	98	0.11	0.07	Y 염색체	3	4	0.05	0.75
체세포	7	9	0.11	0.78	감수 1분열	3	5	0.05	0.60
난자	7	19	0.11	0.37	염색 분체	3	5	0.05	0.60
상동 염색체	7	11	0.11	0.64	교차	3	6	0.05	0.50
핵형	6	7	0.10	0.86	2배체	2	2	0.03	1.00
감수분열	6	20	0.10	0.30	핵형 분석	2	2	0.03	1.00
46개	6	6	0.10	1.00	DNA 가닥	2	2	0.03	1.00

$F(A)$: 개념 A를 포함하는 관계의 빈도, $F(B)$: 개념 B를 포함하는 관계의 빈도, $F(\overrightarrow{AB})$: \overrightarrow{AB} 관계의 빈도
 $P(\overrightarrow{AB})$: A개념을 중심으로 한 \overrightarrow{AB} 관계의 근접도, $P(\overrightarrow{BA})$: B개념을 중심으로 한 \overrightarrow{AB} 관계의 근접도

<표 IV-59> 고등학교 과학 교과서에 나타난 ‘유전자’ 개념 중심의 주요 관계

개념 A: 유전자, $F(A)=61$					$P(\overrightarrow{BA}) \geq 0.5$ 이고 $F(\overrightarrow{AB})$ 상위의 주요 관계				
$P(\overrightarrow{AB})$ 상대 개념 (개념B)	$F(\overrightarrow{AB})$	$F(B)$	$P(\overrightarrow{AB})$	$P(\overrightarrow{BA})$	$P(\overrightarrow{BA}) \geq 0.5$ 이고 상대 개념 (개념B)	$F(\overrightarrow{AB})$	$F(B)$	$P(\overrightarrow{AB})$	$P(\overrightarrow{BA})$
염색체	14	63	0.23	0.22	삽입	3	3	0.05	1.00
형질	10	31	0.16	0.32	인공 유전자	3	4	0.05	0.75
DNA	9	59	0.15	0.15	발현	2	2	0.03	1.00
단백질	8	73	0.13	0.11	재조합	2	2	0.03	1.00
유전 정보	5	27	0.08	0.19	아미노산 서열	2	2	0.03	1.00
세포	5	98	0.08	0.05	제한 효소	2	2	0.03	1.00
사람	5	96	0.08	0.05	효모	2	3	0.03	0.67
염기 서열	4	6	0.07	0.67	유전적 특성	2	4	0.03	0.50
뉴클레오타이드	4	17	0.07	0.24	토마토	2	4	0.03	0.50
품종	4	23	0.07	0.17					

$F(A)$: 개념 A를 포함하는 관계의 빈도, $F(B)$: 개념 B를 포함하는 관계의 빈도, $F(\overrightarrow{AB})$: \overrightarrow{AB} 관계의 빈도
 $P(\overrightarrow{AB})$: A개념을 중심으로 한 \overrightarrow{AB} 관계의 근접도, $P(\overrightarrow{BA})$: B개념을 중심으로 한 \overrightarrow{AB} 관계의 근접도

네 번째 개념군은 사람 개념과 함께 질병, 세균, 암, 진단 등의 주요 개념을 포함하는 개념군이였다. 이 군집의 주요 개념들은 주로 인류의 건강과 과학 기술 단원의 내용을 대표하는 개념들로 질병의 원인이 되는 세균, 바이러스와 같은 병원체에 대하여 인체가 면역 기능을 통해 스스로를 보호

하는 기작과 관한 내용이 교과서에서 강조되고 있음 알 수 있다(그림 IV-9).

또 주요 질병인 암의 발생 과정에 대한 내용과 첨단 과학 기술을 이용한 진단 기술인 CT, MRI 등을 통해 암을 진단하고 치료하는 기술에 관한 내용을 보여주는 관계들도 나타나고 있었다(그림 IV-9, 표 IV-60). 특히 암과 암의 진단 기술인 CT 등의 개념은 높은 고유도를 보여 이와 관련된 내용이 고등학교 과학 교과서에서만 고유하게 다루어지고 있음을 알 수 있다(표 IV-52).

<표 IV-60> 고등학교 과학 교과서에 나타난 ‘질병’ 개념 중심의 주요 관계

개념 A: 질병, $F(A)=65$					$P(\overrightarrow{BA}) \geq 0.5$ 이고 $F(\overrightarrow{AB})$ 상위의 주요 관계				
$P(\overrightarrow{AB})$ 상위의 주요 관계					$P(\overrightarrow{BA}) \geq 0.5$ 이고 $F(\overrightarrow{AB})$ 상위의 주요 관계				
상대 개념 (개념B)	$F(\overrightarrow{AB})$	$F(B)$	$P(\overrightarrow{AB})$	$P(\overrightarrow{BA})$	상대 개념 (개념B)	$F(\overrightarrow{AB})$	$F(B)$	$P(\overrightarrow{AB})$	$P(\overrightarrow{BA})$
진단	11	35	0.17	0.31	확산 방지	3	3	0.05	1.00
사람	11	96	0.17	0.11	신품종 개발	1	1	0.02	1.00
예방	10	11	0.15	0.91	환경 오염	1	1	0.02	1.00
식품	9	38	0.14	0.24	첨단 장비	1	1	0.02	1.00
물	7	104	0.11	0.07	난치병 치료	1	1	0.02	1.00
암	5	73	0.08	0.07	농업 생산성	1	1	0.02	1.00
인류	5	15	0.08	0.33	입체 영상 기술	1	1	0.02	1.00
면역	5	13	0.08	0.38	제약 기술	1	1	0.02	1.00
백신	5	15	0.08	0.33	첨단 과학 기술	1	1	0.02	1.00
CT	4	23	0.06	0.17	유전자 분석	1	2	0.02	0.50

$F(A)$: 개념 A를 포함하는 관계의 빈도, $F(B)$: 개념 B를 포함하는 관계의 빈도, $F(\overrightarrow{AB})$: \overrightarrow{AB} 관계의 빈도
 $P(\overrightarrow{AB})$: A개념을 중심으로 한 \overrightarrow{AB} 관계의 근접도, $P(\overrightarrow{BA})$: B개념을 중심으로 한 \overrightarrow{AB} 관계의 근접도

마지막 개념군인 식물, 광합성, 이산화탄소, 산소를 중심으로 한 개념군은 교과서의 에너지와 환경 단원의 내용 중 탄소 순환과 기후 변화와 관련된 내용을 보여준다. 이 개념군에는 식물이 대기와 토양으로부터 수소, 탄소, 질소 등과 같은 무기물을 흡수하여 생장에 필요한 유기물을 합성하는 것과 관련된 개념들의 관계망이 포함되고 있었다(그림 IV-9). 이와 관련하여 특히 식물이 물과 이산화탄소를 원료로 하여 포도당을 합성하는 과정인 광합성에 대한 내용이 중심 내용이 되고 있음을 알 수 있다(표 IV-61).

이 군집이 나타내고 있는 고등학교 과학의 에너지와 환경 단원에서는 지구 계에서 일어나는 탄소 순환과 질소 순환의 중심에 식물의 광합성과 생장이 있음을 학습할 수 있도록 내용이 구성되고 있었다.

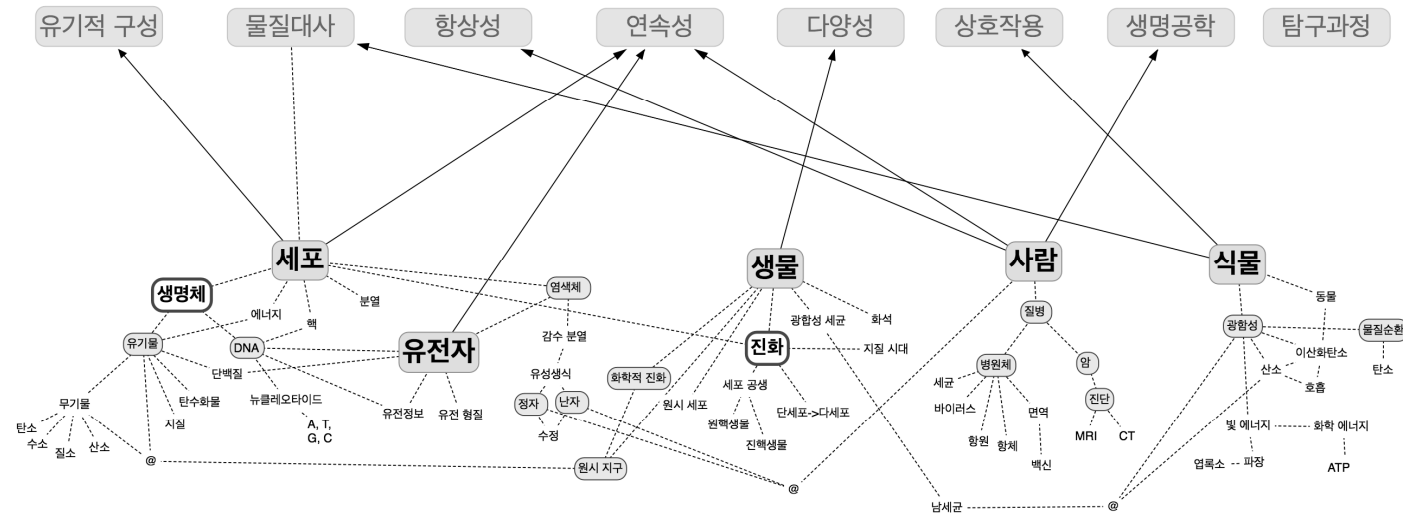
생태계의 물질 순환과 식물의 광합성과 관련된 이 개념군은 다른 개념군에 비하여 포함된 주요 개념들이 복잡하게 얽힌 관계망을 형성하는 특징을 보였다(그림 IV-9). 또 이 군집에 포함된 탄소와 질소 개념은 고유도가 높게 나타나고 있었는데(표 IV-52), 이를 통해 생태계 내에서 탄소와 질소의 물질 순환과 관련된 내용이 고등학교 과학 교과서의 고유한 내용임을 알 수 있다.

<표 IV-61> 고등학교 과학 교과서에 나타난 ‘식물’ 개념 중심의 주요 관계

개념 A: 식물, $F(A)=54$					$P(\overline{BA}) \geq 0.5$ 이고 $F(\overline{AB})$ 상위의 주요 관계				
상대 개념 (개념B)	$F(\overline{AB})$	$F(B)$	$P(\overline{AB})$	$P(\overline{BA})$	상대 개념 (개념B)	$F(\overline{AB})$	$F(B)$	$P(\overline{AB})$	$P(\overline{BA})$
동물	12	28	0.22	0.43	토양	8	14	0.15	0.57
물	10	104	0.19	0.10	질소 화합물	4	7	0.07	0.57
이산화탄소	10	60	0.19	0.17	일	4	8	0.07	0.50
광합성	9	51	0.17	0.18	뿌리	2	3	0.04	0.67
토양	8	14	0.15	0.57	양분	2	3	0.04	0.67
산소	6	63	0.11	0.10	생산성	2	3	0.04	0.67
빛 에너지	5	16	0.09	0.31	부패	2	4	0.04	0.50
질소	5	26	0.09	0.19	분해자	2	4	0.04	0.50
포도당	5	23	0.09	0.22	기체 교환	1	1	0.02	1.00
빛	5	32	0.09	0.16	녹색 파장	1	1	0.02	1.00

$F(A)$: 개념 A를 포함하는 관계의 빈도, $F(B)$: 개념 B를 포함하는 관계의 빈도, $F(\overline{AB})$: \overline{AB} 관계의 빈도
 $P(\overline{AB})$: A개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도, $P(\overline{BA})$: B개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도

이상의 분석을 통해 고등학교 과학 교과서에서 다루어지는 생명의 기원에 대한 세포의 구성과 화학적 진화에 대한 내용, 생물의 진화와 생명의 연속성에 대한 내용, 그리고 암, 질병, 진단 등의 개념을 중심으로 한 생명과학 기술과 면역에 대한 내용, 물질 순환과 광합성에 대한 내용에 포함되고 있는 주요 개념과 관계를 알아보았다. 고등학교 과학 교과서의 생물 내용에서는 탐구 과정을 제외한 7가지 핵심 주제가 모두 다루어지고 있어 내용의 수평적 연계성(통합성)이 높음을 알 수 있었다(그림 IV-10).



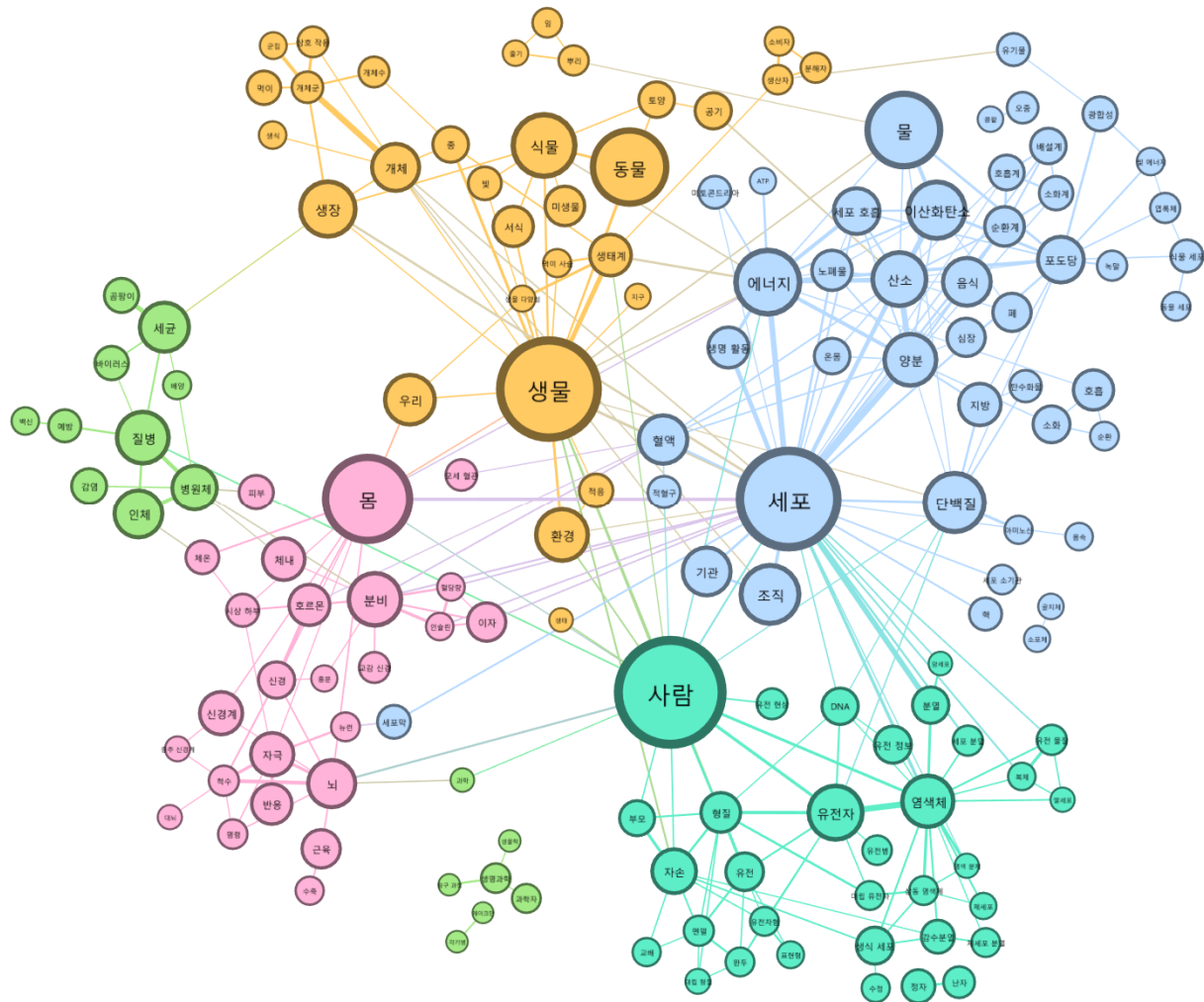
<그림 IV-10> 고등학교 과학 생물 내용의 개념 체계와 수평적 연계성

4) 고등학교 생명과학 I 교과서 내용의 개념 체계와 수평적 연계성

고등학교 생명과학 I 교과서에서 제시되고 있는 생물학 지식의 내용에 대한 주요 개념 관계망 분석을 통해 생명과학 I 교과서의 내용을 구성하는 주요 개념과 주요 관계를 분석하였다. 이를 통해 생명과학 I 교과서에 포함된 생물 교과서의 핵심 주제와 수평적 연계성을 분석한 결과는 다음과 같다.

고등학교 생명과학 I 교과서에는 265개의 주요 개념이 포함되어 있었고, 주요 개념 관계망의 밀도는 0.091로 포함된 주요 개념 수가 많음에도 불구하고 다른 학교급의 교과서에 대한 관계망들에 비하여 상대적으로 높은 밀도를 나타내고 있었다(표 IV-31). 이 주요 개념 관계망에서 개념 사이의 관계가 5회 이상 나타나는 연결과 개념만을 포함시켜 시각화한 결과는 <그림 IV-11>과 같다.

시각화된 개념 관계망에서는 세포, 사람, 생물, 몸, 에너지, 단백질, 염색체, 유전자, 생태계, 개체군 등의 개념이 중심성이 높은 개념으로 나타났다(표 IV-62). 이 개념들을 중심으로 4개의 영역으로 주요 개념군이 나뉘는 것을 알 수 있었다. 조사된 4개의 주요 개념군을 분석한 결과는 다음과 같다.



Note. 노드의 크기는 각 개념의 연결정도에 비례, 연결선의 굵기는 관계의 가중치(≥ 5)에 비례, 노드의 색상은 노드의 군집에 따라 다름

<그림 IV-11> 고등학교 생명과학 I 교과서의 주요 개념 관계망

<표 IV-62> 고등학교 생명과학 I 교과서의 주요 개념 (지수별 상위 30개)

빈도		연결정도		사이중심성		고유도	
개념	값	개념	값	개념	값	개념	값
세포	210	사람	137	사람	0.131	교감 신경	1.00
사람	195	세포	127	생물	0.114	군집	1.00
생물	179	생물	127	세포	0.096	홍분	0.97
염색체	134	몸	106	몸	0.057	생태	0.95
에너지	106	동물	89	물	0.051	담구 과정	0.87
몸	102	물	88	동물	0.040	개체군	0.85
개체군	86	에너지	74	단백질	0.026	생명과학	0.81
유전자	82	식물	71	식물	0.025	병원체	0.79
생태계	71	단백질	67	에너지	0.021	시상 하부	0.76
분비	71	조직	65	생장	0.018	척수	0.76
질병	65	이산화탄소	63	유전자	0.018	에이크만	0.75
식물	65	생장	60	환경	0.017	면역계	0.73
병원체	65	유전자	58	우리	0.016	상호 작용	0.72
유전	63	산소	58	이산화탄소	0.015	체내	0.71
형질	61	분비	56	조직	0.013	뉴런	0.71
물	60	질병	55	염색체	0.013	유전병	0.71
산소	60	양분	55	질병	0.013	각기병	0.69
개체	60	환경	55	세균	0.012	먹이 사슬	0.67
자극	59	염색체	54	분비	0.011	신경계	0.66
단백질	57	우리	52	호르몬	0.011	수축	0.66
양분	56	세균	51	개체	0.011	비만	0.65
세균	54	혈액	50	DNA	0.010	백신	0.62
인체	53	인체	49	산소	0.010	인체	0.61
혈액	53	음식	49	양분	0.009	질환	0.60
종	51	기관	49	서식	0.009	생산자	0.59
뇌	51	개체	48	지방산	0.008	신경	0.58
생명과학	50	뇌	48	지방	0.008	예방	0.58
환경	50	포도당	46	뇌	0.007	생물 다양성	0.57
생장	49	세포 호흡	46	기관	0.007	분해자	0.55
동물	48	병원체	44	혈액	0.006	유전자형	0.55

첫 번째 개념군은 세포, 에너지, 양분, 단백질, 세포 호흡 등이 주요 개념으로 포함된 개념군으로 생명과학 I 교과서의 생명 과학의 이해 단원의 내용 일부와 항상성과 건강 단원 중 세포의 생명 활동과 에너지에 대한 내용을 나타낸다. 생명과학 I 교과서에서 가장 높은 빈도를 보인 세포 개념을 중심으로 세포를 구성하는 세포 소기관과 관련된 개념, 조직, 기관, 생물 등의 개념과 형성된 주요 관계를 통해 생물의 유기적 구성 주제에 대한

내용이 나타나고 있었다. 또 양분, 에너지, 혈액, 세포 호흡 등의 주요 개념을 통해 세포가 생명 활동을 하는 데 필요한 물질과 에너지를 얻는 물질 대사의 과정과 그 과정에서 소화·순환·호흡·배설계가 통합적으로 작용하고 있음을 나타내는 관계도 포함되고 있었다(표 IV-63, 표 IV-64).

세포의 물질 대사가 중심이 된 이 개념군은 시각화 결과에서 보이듯이 가장 많은 주요 개념을 포함하고, 개념들 사이의 연결도 다른 개념군에 비하여 두껍고, 밀도도 높게 나타나고 있었다. 이를 통해 이 군집에 포함된 개념들이 다른 군집에 비해 서로 서로 복잡하게 얽히는 경향이 크고, 그 관계들이 교과서에서 반복적으로 강조되고 있음을 알 수 있다(그림 IV-11).

이 개념군의 핵심 개념인 세포와 에너지 개념을 중심으로 높은 근접도를 보인 개념들과의 관계를 통해 이 개념군에서 세포 개념을 중심으로 생명의 유기적 구성, 물질대사, 생명의 연속성 핵심 주제와 관련된 내용이 연계되고 있을 알 수 있었다(표 IV-63, 표 IV-64).

<표 IV-63> 고등학교 생명과학 I 교과서에 나타난 ‘세포’ 개념 중심의 주요 관계

개념 A: 세포, $F(A)=210$					$P(\overline{BA}) \geq 0.5$ 이고 $F(\overline{AB})$ 상위의 주요 관계				
$P(\overline{AB})$ 상위의 주요 관계					$P(\overline{BA}) \geq 0.5$ 이고 $F(\overline{AB})$ 상위의 주요 관계				
상대 개념 (개념B)	$F(\overline{AB})$	$F(B)$	$P(\overline{AB})$	$P(\overline{BA})$	상대 개념 (개념B)	$F(\overline{AB})$	$F(B)$	$P(\overline{AB})$	$P(\overline{BA})$
양분	26	56	0.12	0.46	순환계	10	18	0.05	0.56
에너지	24	106	0.11	0.23	세포 주기	8	16	0.04	0.50
분열	23	42	0.11	0.55	핵	8	16	0.04	0.50
생명 활동	19	29	0.09	0.66	세포 소기관	7	11	0.03	0.64
산소	18	60	0.09	0.30	배설계	7	13	0.03	0.54
몸	14	102	0.07	0.14	근육 세포	5	9	0.02	0.56
조직	14	38	0.07	0.37	G기	4	5	0.02	0.80
염색체	13	134	0.06	0.10	분화	4	8	0.02	0.50
생물	12	179	0.06	0.07	아메바	3	3	0.01	1.00
기관	11	33	0.05	0.33	다세포 생물	3	3	0.01	1.00

$F(A)$: 개념 A를 포함하는 관계의 빈도, $F(B)$: 개념 B를 포함하는 관계의 빈도, $F(\overline{AB})$: \overline{AB} 관계의 빈도
 $P(\overline{AB})$: A개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도, $P(\overline{BA})$: B개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도

<표 IV-64> 고등학교 생명과학 I 교과서에 나타난 ‘에너지’ 개념 중심의 주요 관계

개념 A: 에너지, $F(A)=106$

$P(\overline{AB})$ 상위의 주요 관계					$P(\overline{BA}) \geq 0.5$ 이고 $F(\overline{AB})$ 상위의 주요 관계				
상대 개념 (개념B)	$F(\overline{AB})$	$F(B)$	$P(\overline{AB})$	$P(\overline{BA})$	상대 개념 (개념B)	$F(\overline{AB})$	$F(B)$	$P(\overline{AB})$	$P(\overline{BA})$
세포	24	210	0.23	0.11	영양	5	10	0.05	0.50
산소	17	60	0.16	0.28	태양	4	8	0.04	0.50
세포 호흡	16	32	0.15	0.50	ADP	3	3	0.03	1.00
양분	16	56	0.15	0.29	상위 영양 단계	3	6	0.03	0.50
생명 활동	14	29	0.13	0.48	열에너지	2	2	0.02	1.00
포도당	14	45	0.13	0.31	발열	2	2	0.02	1.00
ATP	10	18	0.09	0.56	근육 운동	2	2	0.02	1.00
생태계	10	71	0.09	0.14	무기 인산	2	2	0.02	1.00
이산화탄소	9	48	0.08	0.19	신재생 에너지	2	3	0.02	0.67
미토콘드리아	7	14	0.07	0.50	채운 유지	2	3	0.02	0.67

$F(A)$: 개념 A를 포함하는 관계의 빈도, $F(B)$: 개념 B를 포함하는 관계의 빈도, $F(\overline{AB})$: \overline{AB} 관계의 빈도
 $P(\overline{AB})$: A개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도, $P(\overline{BA})$: B개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도

두 번째 개념군은 사람 개념과 함께 염색체, 유전자, 형질, 유전 등의 개념이 중심이 된 개념군으로 세포와 생명의 연속성 단원의 내용을 나타내고 있는 개념군이다. 첫 번째 그룹의 핵심 개념인 세포 개념은 이 군집의 주요 개념들 특히 세포 분열에 관련된 개념들과도 다수의 연결을 형성하고 있었다(표 IV-63). 이 개념군의 핵심 개념인 사람 개념은 생명과학 I 교과서에서 가장 높은 연결정도와 사이중심성을 나타내었고, 사람을 중심으로 한 주요 관계들에서 유전자와 염색체 개념과의 $P(\overline{AB})$ 가 높게 나타나 생명의 연속성에 대한 내용이 주로 사람의 유전을 중심으로 다루어지고 있음을 알 수 있다(표 IV-65).

이 개념군의 관계망에서는 생명과학 I 교과서에서 DNA와 유전자, 염색체 사이의 관계, 세포 주기와 세포 분열의 과정, 그리고 그 과정에서 나타나는 염색체의 행동과 관련된 내용이 강조되고 있음을 알 수 있다. 특히, 감수분열 시에 일어나는 염색체의 행동과 자손으로의 유전자 전달이 관련됨을 나타내는 관계가 강조되고 있었다(표 IV-63, 표 IV-66). 생식 세포 생성을 통한 자손으로의 유전자 전달을 멘델의 유전 원리와 연결 짓고, 더 나아가 사람의 다양한 유전 현상(그림 IV-11), 다양한 유전병에

대한 내용들이 생명과학 I 교과서의 세포와 생명의 연속성 단원에서 다루어지는 주요 내용임을 알 수 있다(표 IV-67).

<표 IV-65> 고등학교 생명과학 I 교과서에 나타난 ‘사람’ 개념 중심의 주요 관계

개념 A: 사람, $F(A)=195$					$P(\overline{BA}) \geq 0.5$ 이고 $F(\overline{AB})$ 상위의 주요 관계				
$P(\overline{AB})$ 상위의 주요 관계					$P(\overline{BA}) \geq 0.5$ 이고 $F(\overline{AB})$ 상위의 주요 관계				
상대 개념 (개념B)	$F(\overline{AB})$	$F(B)$	$P(\overline{AB})$	$P(\overline{BA})$	상대 개념 (개념B)	$F(\overline{AB})$	$F(B)$	$P(\overline{AB})$	$P(\overline{BA})$
유전자	13	82	0.07	0.16	몸무게	3	3	0.02	1.00
염색체	12	134	0.06	0.09	신경 생물학	3	3	0.02	1.00
유전	9	63	0.05	0.14	전염	3	3	0.02	1.00
생물	9	179	0.05	0.05	23쌍	3	3	0.02	1.00
뇌	9	51	0.05	0.18	키	3	4	0.02	0.75
세포	8	210	0.04	0.04	에너지 소모량	3	4	0.02	0.75
형질	8	61	0.04	0.13	생존	3	4	0.02	0.75
질병	7	65	0.04	0.11	거울 뉴런	3	4	0.02	0.75
성염색체	7	21	0.04	0.33	유전체 지도	2	2	0.01	1.00
피부색	7	11	0.04	0.64	스트레스	2	2	0.01	1.00

$F(A)$: 개념 A를 포함하는 관계의 빈도, $F(B)$: 개념 B를 포함하는 관계의 빈도, $F(\overline{AB})$: \overline{AB} 관계의 빈도
 $P(\overline{AB})$: A개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도, $P(\overline{BA})$: B개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도

<표 IV-66> 고등학교 생명과학 I 교과서에 나타난 ‘염색체’ 개념 중심의 주요 관계

개념 A: 염색체, $F(A)=134$					$P(\overline{BA}) \geq 0.5$ 이고 $F(\overline{AB})$ 상위의 주요 관계				
$P(\overline{AB})$ 상위의 주요 관계					$P(\overline{BA}) \geq 0.5$ 이고 $F(\overline{AB})$ 상위의 주요 관계				
상대 개념 (개념B)	$F(\overline{AB})$	$F(B)$	$P(\overline{AB})$	$P(\overline{BA})$	상대 개념 (개념B)	$F(\overline{AB})$	$F(B)$	$P(\overline{AB})$	$P(\overline{BA})$
유전자	26	82	0.19	0.32	핵상	8	9	0.06	0.89
염색사	15	17	0.11	0.88	중기	8	13	0.06	0.62
세포	13	210	0.10	0.06	체세포	8	14	0.06	0.57
사람	12	195	0.09	0.06	인	6	8	0.04	0.75
상동 염색체	12	36	0.09	0.33	모세포	6	10	0.04	0.60
분열	11	42	0.08	0.26	세포 중앙 적도	5	5	0.04	1.00
염색 분체	11	17	0.08	0.65	응축	5	5	0.04	1.00
생식 세포	8	31	0.06	0.26	동원체	4	8	0.03	0.50
체세포	8	14	0.06	0.57	연관군	3	3	0.02	1.00
감수분열	8	28	0.06	0.29	염색체 비분리	3	3	0.02	1.00

$F(A)$: 개념 A를 포함하는 관계의 빈도, $F(B)$: 개념 B를 포함하는 관계의 빈도, $F(\overline{AB})$: \overline{AB} 관계의 빈도
 $P(\overline{AB})$: A개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도, $P(\overline{BA})$: B개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도

<표 IV-67> 고등학교 생명과학 I 교과서에 나타난 ‘유전자’ 개념 중심의 주요 관계

개념 A: 유전자, $F(A)=82$

$P(\overline{AB})$ 상위의 주요 관계					$P(\overline{BA}) \geq 0.5$ 이고 $F(\overline{AB})$ 상위의 주요 관계				
상대 개념 (개념B)	$F(\overline{AB})$	$F(B)$	$P(\overline{AB})$	$P(\overline{BA})$	상대 개념 (개념B)	$F(\overline{AB})$	$F(B)$	$P(\overline{AB})$	$P(\overline{BA})$
염색체	26	134	0.32	0.19	초파리	4	8	0.05	0.50
형질	14	61	0.17	0.23	발현	3	5	0.04	0.60
사람	13	195	0.16	0.07	날개	3	5	0.04	0.60
DNA	8	29	0.10	0.28	농작물	2	2	0.02	1.00
연관	8	9	0.10	0.89	모건	2	3	0.02	0.67
유전	8	63	0.10	0.13	유전자 분석	2	3	0.02	0.67
대립 유전자	6	27	0.07	0.22	역위	2	4	0.02	0.50
단백질	6	57	0.07	0.11	헌팅턴 무도병	2	4	0.02	0.50
유전병	5	17	0.06	0.29	성	2	4	0.02	0.50
유전자형	5	30	0.06	0.17	중복	2	4	0.02	0.50

$F(A)$: 개념 A를 포함하는 관계의 빈도, $F(B)$: 개념 B를 포함하는 관계의 빈도, $F(\overline{AB})$: \overline{AB} 관계의 빈도
 $P(\overline{AB})$: A개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도, $P(\overline{BA})$: B개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도

세 번째 하위 군집은 두개의 개념군을 포함하고 있었는데 먼저 몸, 자극, 뇌, 신경계, 호르몬, 분비 등의 주요 개념을 포함하는 개념군은 항상성의 유지를 위한 우리 몸의 조절 기작에 대한 교과서의 내용을 나타낸다(그림 IV-11, 표 IV-68). 이 개념군에는 신경계와 내분비계의 조절 작용을 통해 인체가 자극에 대해 반응하고 이를 통해 항상성이 유지될 수 있음을 나타내는 개념의 관계망이 포함된다. 교과서의 해당 단위에서 신경계의 구성과 함께 신경계를 구성하는 뉴런을 통해 자극이 전달되는 과정이 중심적으로 다루어지고 있음을 알 수 있다(표 IV-69). 이 개념군에는 신경과 호르몬에 의한 체온 조절과 혈당량 조절에 대한 주요 관계도 나타나고 있었다(표 IV-70). 이 개념군에 포함된 개념 중 고유도가 높은 교감신경, 흥분, 시상하부, 뉴런 등의 주요 개념들을 통해 신경계의 구조와 기능, 인체의 항상성 조절에 대한 내용들이 생명과학 I 교과서에서 중점적으로 다루어지고 있음을 알 수 있다(표 IV-62).

<표 IV-68> 고등학교 생명과학 I 교과서에 나타난 ‘몸’ 개념 중심의 주요 관계

개념 A: 몸, $F(A)=102$

$P(\overrightarrow{AB})$ 상위의 주요 관계					$P(\overrightarrow{BA}) \geq 0.5$ 이고 $F(\overrightarrow{AB})$ 상위의 주요 관계				
상대 개념 (개념B)	$F(\overrightarrow{AB})$	$F(B)$	$P(\overrightarrow{AB})$	$P(\overrightarrow{BA})$	상대 개념 (개념B)	$F(\overrightarrow{AB})$	$F(B)$	$P(\overrightarrow{AB})$	$P(\overrightarrow{BA})$
세포	14	210	0.14	0.07	소뇌	3	6	0.03	0.50
체온	8	38	0.08	0.21	말단부	2	2	0.02	1.00
우리	7	39	0.07	0.18	흔적 날개 초파리	2	2	0.02	1.00
뇌	7	51	0.07	0.14	밥	2	2	0.02	1.00
호르몬	7	37	0.07	0.19	평형 감각	2	2	0.02	1.00
에너지	6	106	0.06	0.06	날씨	2	3	0.02	0.67
생물	6	179	0.06	0.03	호랑나비	2	3	0.02	0.67
신경계	6	29	0.06	0.21	벼룩	2	3	0.02	0.67
항상성	5	13	0.05	0.38	뼈	2	4	0.02	0.50
신경	5	47	0.05	0.11	감기약	2	4	0.02	0.50

$F(A)$: 개념 A를 포함하는 관계의 빈도, $F(B)$: 개념 B를 포함하는 관계의 빈도, $F(\overrightarrow{AB})$: \overrightarrow{AB} 관계의 빈도
 $P(\overrightarrow{AB})$: A개념을 중심으로 한 \overrightarrow{AB} 관계의 근접도, $P(\overrightarrow{BA})$: B개념을 중심으로 한 \overrightarrow{AB} 관계의 근접도

<표 IV-69> 고등학교 생명과학 I 교과서에 나타난 ‘자극’ 개념 중심의 주요 관계

개념 A: 자극, $F(A)=59$

$P(\overrightarrow{AB})$ 상위의 주요 관계					$P(\overrightarrow{BA}) \geq 0.5$ 이고 $F(\overrightarrow{AB})$ 상위의 주요 관계				
상대 개념 (개념B)	$F(\overrightarrow{AB})$	$F(B)$	$P(\overrightarrow{AB})$	$P(\overrightarrow{BA})$	상대 개념 (개념B)	$F(\overrightarrow{AB})$	$F(B)$	$P(\overrightarrow{AB})$	$P(\overrightarrow{BA})$
반응	14	29	0.24	0.48	무의식적	3	3	0.05	1.00
척수	13	34	0.22	0.38	반사궁	2	3	0.03	0.67
뇌	13	51	0.22	0.25	날씨	2	3	0.03	0.67
뉴런	10	37	0.17	0.27	분극	2	4	0.03	0.50
감각기	6	11	0.10	0.55	뉴런의 막	2	4	0.03	0.50
명령	6	15	0.10	0.40	환각	1	1	0.02	1.00
시상 하부	5	26	0.08	0.19	전달 경로	1	1	0.02	1.00
감각 뉴런	5	8	0.08	0.62	신경 연결	1	1	0.02	1.00
몸	5	102	0.08	0.05	신경 자극	1	1	0.02	1.00
반사	4	5	0.07	0.80	감각 수용기	1	1	0.02	1.00

$F(A)$: 개념 A를 포함하는 관계의 빈도, $F(B)$: 개념 B를 포함하는 관계의 빈도, $F(\overrightarrow{AB})$: \overrightarrow{AB} 관계의 빈도
 $P(\overrightarrow{AB})$: A개념을 중심으로 한 \overrightarrow{AB} 관계의 근접도, $P(\overrightarrow{BA})$: B개념을 중심으로 한 \overrightarrow{AB} 관계의 근접도

<표 IV-70> 고등학교 생명과학 I 교과서에 나타난 ‘호르몬’ 개념 중심의 주요 관계

개념 A: 호르몬, $F(A)=37$

$P(\overline{AB})$ 상위의 주요 관계					$P(\overline{BA}) \geq 0.5$ 이고 $F(\overline{AB})$ 상위의 주요 관계				
상대 개념 (개념B)	$F(\overline{AB})$	$F(B)$	$P(\overline{AB})$	$P(\overline{BA})$	상대 개념 (개념B)	$F(\overline{AB})$	$F(B)$	$P(\overline{AB})$	$P(\overline{BA})$
신경	16	47	0.43	0.34	과다증	2	2	0.05	1.00
분비	9	71	0.24	0.13	성호르몬	2	2	0.05	1.00
몸	7	102	0.19	0.07	결핍증	2	3	0.05	0.67
내분비샘	6	11	0.16	0.55	뇌하수체	2	4	0.05	0.50
시상 하부	5	26	0.14	0.19	콜레스테롤	2	4	0.05	0.50
혈액	5	53	0.14	0.09	분비량	2	4	0.05	0.50
표적 세포	5	6	0.14	0.83	반응 속도	1	1	0.03	1.00
기관	4	33	0.11	0.12	내분비 세포	1	1	0.03	1.00
자율 신경	3	8	0.08	0.38	체온 변화	1	1	0.03	1.00
항상성	3	13	0.08	0.23	생리 작용	1	2	0.03	0.50

$F(A)$: 개념 A를 포함하는 관계의 빈도, $F(B)$: 개념 B를 포함하는 관계의 빈도, $F(\overline{AB})$: \overline{AB} 관계의 빈도
 $P(\overline{AB})$: A개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도, $P(\overline{BA})$: B개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도

세 번째 하위 군집을 이루는 두 번째 개념군은 병원체, 질병, 세균 등의 개념이 중심이 된 개념군이다. 이 개념군은 사람에게 질병을 일으키는 병원체의 감염 경로와 특성을 통해 질병의 감염을 예방하는 방법, 병원체에 대항하는 인체의 방어 작용과 면역에 대한 내용이 생명과학 I 교과서에서 다루어지고 있음을 보여주고 있다(표 IV-71, 표 IV-72). <그림 IV-11>에서는 이 개념군이 다른 개념군에 비하여 상대적으로 적은 수의 주요 개념을 포함하고 있고, 주요 개념들 역시 낮은 빈도와 연결정도를 나타내고 있다. 이는 교과서에서 인체의 방어 작용에 대한 내용이 다른 단원의 내용에 비해 상대적으로 덜 강조되고 있음을 보여준다.

이 개념군의 주요 개념인 병원체 개념은 고유도가 0.79로 높게 나타나는데(표 IV-62), 이를 통해 고등학교 과학 교과서에서 다루어진 면역에 대한 내용이 생명과학 I에서는 좀 더 자세히 다루어짐을 알 수 있다.

<표 IV-71> 고등학교 생명과학 I 교과서에 나타난 ‘병원체’ 개념 중심의 주요 관계

개념 A: 병원체, $F(A)=65$

$P(\overrightarrow{AB})$ 상위의 주요 관계					$P(\overrightarrow{BA}) \geq 0.5$ 이고 $F(\overrightarrow{AB})$ 상위의 주요 관계				
상대 개념 (개념B)	$F(\overrightarrow{AB})$	$F(B)$	$P(\overrightarrow{AB})$	$P(\overrightarrow{BA})$	상대 개념 (개념B)	$F(\overrightarrow{AB})$	$F(B)$	$P(\overrightarrow{AB})$	$P(\overrightarrow{BA})$
질병	17	65	0.26	0.26	라이소자임	4	5	0.06	0.80
인체	16	53	0.25	0.30	백혈구	4	8	0.06	0.50
방어 작용	7	17	0.11	0.41	염증 반응	3	5	0.05	0.60
피부	7	24	0.11	0.29	장벽	2	2	0.03	1.00
감염	6	25	0.09	0.24	위산	2	2	0.03	1.00
분비	6	71	0.09	0.08	점액	2	3	0.03	0.67
접막	5	8	0.08	0.62	방어 능력	2	3	0.03	0.67
배양	5	17	0.08	0.29	식균 작용	2	3	0.03	0.67
면역 반응	5	10	0.08	0.50	위	2	3	0.03	0.67
백신	4	26	0.06	0.15	생백신	2	3	0.03	0.67

$F(A)$: 개념 A를 포함하는 관계의 빈도, $F(B)$: 개념 B를 포함하는 관계의 빈도, $F(\overrightarrow{AB})$: \overrightarrow{AB} 관계의 빈도
 $P(\overrightarrow{AB})$: A개념을 중심으로 한 \overrightarrow{AB} 관계의 근접도, $P(\overrightarrow{BA})$: B개념을 중심으로 한 \overrightarrow{AB} 관계의 근접도

<표 IV-72> 고등학교 생명과학 I 교과서에 나타난 ‘질병’ 개념 중심의 주요 관계

개념 A: 질병, $F(A)=65$

$P(\overrightarrow{AB})$ 상위의 주요 관계					$P(\overrightarrow{BA}) \geq 0.5$ 이고 $F(\overrightarrow{AB})$ 상위의 주요 관계				
상대 개념 (개념B)	$F(\overrightarrow{AB})$	$F(B)$	$P(\overrightarrow{AB})$	$P(\overrightarrow{BA})$	상대 개념 (개념B)	$F(\overrightarrow{AB})$	$F(B)$	$P(\overrightarrow{AB})$	$P(\overrightarrow{BA})$
병원체	17	65	0.26	0.26	감염 경로	4	4	0.06	1.00
인체	10	53	0.15	0.19	소아마비	3	3	0.05	1.00
예방	9	29	0.14	0.31	치료 방법	3	5	0.05	0.60
세균	8	54	0.12	0.15	치료법	2	2	0.03	1.00
사람	7	195	0.11	0.04	세균학자	2	2	0.03	1.00
AIDS	5	7	0.08	0.71	농작물	2	2	0.03	1.00
코호	5	9	0.08	0.56	전염	2	3	0.03	0.67
바이러스	5	36	0.08	0.14	독소	2	3	0.03	0.67
파스퇴르	4	14	0.06	0.29	천연두	2	4	0.03	0.50
백신	4	26	0.06	0.15	원생동물	2	4	0.03	0.50

$F(A)$: 개념 A를 포함하는 관계의 빈도, $F(B)$: 개념 B를 포함하는 관계의 빈도, $F(\overrightarrow{AB})$: \overrightarrow{AB} 관계의 빈도
 $P(\overrightarrow{AB})$: A개념을 중심으로 한 \overrightarrow{AB} 관계의 근접도, $P(\overrightarrow{BA})$: B개념을 중심으로 한 \overrightarrow{AB} 관계의 근접도

생물, 동물, 식물, 생태계, 환경, 개체군 등의 주요 개념이 중심이 되어 형성된 마지막 개념군은 생명과학 I 교과서의 자연 속의 인간 단원의 내용을 나타내는 개념군이다(그림 IV-11). 높은 빈도를 보여 이 개념군을 대표 대표하고 있는 생물, 개체군, 생태계 개념을 중심으로 형성된 주요관계

들은 생계의 구성과 기능에 관련하여 생물과 환경의 상호 관계, 개체군과 군집의 특성과 그들 사이의 상호작용 등이 교과서에서 다루어지고 있음을 보여준다(표 IV-73 ~ 표 IV-75). 이 개념군에 포함된 ‘우리 - 생물 다양성 - 생태계’의 주요 관계는 생물 다양성의 의미와 중요성에 대한 내용이 교과서에 강조되고 있음을 나타낸다. 이 개념군에 포함된 ‘군집’, ‘개체군’ 등의 개념은 고유도가 매우 높아 생태계에서 군집을 구성하는 생물들 간의 상호작용에 대한 내용은 다른 학교급의 교과서 보다는 생명과학 I 교과서에서 주로 다루어짐을 보여준다(표 IV-62). 실제로 생태계를 구성하는 생물군 사이의 상호 작용에 대한 내용은 초등학교 5-6학년군 교과서의 생물과 환경 단원과 생명과학 I 에서만 다루어지고 있었다.

<표 IV-73> 고등학교 생명과학 I 교과서에 나타난 ‘생물’ 개념 중심의 주요 관계

개념 A: 생물, $F(A)=179$					$P(\overline{BA}) \geq 0.5$ 이고 $F(\overline{AB})$ 상위의 주요 관계				
상대 개념 (개념B)	$F(\overline{AB})$	$F(B)$	$P(\overline{AB})$	$P(\overline{BA})$	상대 개념 (개념B)	$F(\overline{AB})$	$F(B)$	$P(\overline{AB})$	$P(\overline{BA})$
생태계	20	71	0.11	0.28	상호 관계	3	3	0.02	1.00
세포	12	210	0.07	0.06	진화	3	4	0.02	0.75
종	12	51	0.07	0.24	환경 변화	3	5	0.02	0.60
환경	11	50	0.06	0.22	멸종	3	5	0.02	0.60
서식	9	33	0.05	0.27	분류	3	6	0.02	0.50
식물	9	65	0.05	0.14	생활 습성	2	2	0.01	1.00
사람	9	195	0.05	0.05	세포설	2	2	0.01	1.00
비생물 환경	8	11	0.04	0.73	무기물	2	2	0.01	1.00
자손	8	44	0.04	0.18	중급속	2	3	0.01	0.67
토양	7	22	0.04	0.32	태양 에너지	2	3	0.01	0.67

$F(A)$: 개념 A를 포함하는 관계의 빈도, $F(B)$: 개념 B를 포함하는 관계의 빈도, $F(\overline{AB})$: \overline{AB} 관계의 빈도
 $P(\overline{AB})$: A개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도, $P(\overline{BA})$: B개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도

<표 IV-74> 고등학교 생명과학 I 교과서에 나타난 ‘개체군’ 개념 중심의 주요 관계

개념 A: 개체군, $F(A)=86$

$P(\overrightarrow{AB})$ 상위의 주요 관계					$P(\overrightarrow{BA}) \geq 0.5$ 이고 $F(\overrightarrow{AB})$ 상위의 주요 관계				
상대 개념 (개념B)	$F(\overrightarrow{AB})$	$F(B)$	$P(\overrightarrow{AB})$	$P(\overrightarrow{BA})$	상대 개념 (개념B)	$F(\overrightarrow{AB})$	$F(B)$	$P(\overrightarrow{AB})$	$P(\overrightarrow{BA})$
개체	26	60	0.30	0.43	서식 공간	5	6	0.06	0.83
군집	15	40	0.17	0.38	생존 곡선	5	9	0.06	0.56
상호 작용	12	26	0.14	0.46	주기적 변동	4	4	0.05	1.00
개체수	9	33	0.10	0.27	환경 저항	4	4	0.05	1.00
생장	9	49	0.10	0.18	이출	3	3	0.03	1.00
밀도	8	12	0.09	0.67	이입	3	4	0.03	0.75
먹이	8	30	0.09	0.27	출생	3	4	0.03	0.75
경쟁	6	13	0.07	0.46	생식 활동	2	2	0.02	1.00
생존 곡선	5	9	0.06	0.56	안정형	2	3	0.02	0.67
포식	5	11	0.06	0.45	먹이 관계	2	3	0.02	0.67

$F(A)$: 개념 A를 포함하는 관계의 빈도, $F(B)$: 개념 B를 포함하는 관계의 빈도, $F(\overrightarrow{AB})$: \overrightarrow{AB} 관계의 빈도
 $P(\overrightarrow{AB})$: A개념을 중심으로 한 \overrightarrow{AB} 관계의 근접도, $P(\overrightarrow{BA})$: B개념을 중심으로 한 \overrightarrow{AB} 관계의 근접도

<표 IV-75> 고등학교 생명과학 I 교과서에 나타난 ‘생태계’ 개념 중심의 주요 관계

개념 A: 생태계, $F(A)=71$

$P(\overrightarrow{AB})$ 상위의 주요 관계					$P(\overrightarrow{BA}) \geq 0.5$ 이고 $F(\overrightarrow{AB})$ 상위의 주요 관계				
상대 개념 (개념B)	$F(\overrightarrow{AB})$	$F(B)$	$P(\overrightarrow{AB})$	$P(\overrightarrow{BA})$	상대 개념 (개념B)	$F(\overrightarrow{AB})$	$F(B)$	$P(\overrightarrow{AB})$	$P(\overrightarrow{BA})$
생물	20	179	0.28	0.11	생물 환경	2	2	0.03	1.00
평형	13	16	0.18	0.81	오염 물질	2	3	0.03	0.67
생물 다양성	12	40	0.17	0.30	농경지	2	4	0.03	0.50
에너지	10	106	0.14	0.09	생태계 평형	2	4	0.03	0.50
먹이 사슬	9	20	0.13	0.45	생태계 다양성	2	4	0.03	0.50
종	7	51	0.10	0.14	생태계 안정성	1	1	0.01	1.00
생산자	5	20	0.07	0.25	에너지 전환	1	1	0.01	1.00
비생물 환경	5	11	0.07	0.45	생물학적 다양성	1	1	0.01	1.00
다양성	5	10	0.07	0.50	대기 오염	1	2	0.01	0.50
사람	5	195	0.07	0.03	GMO	1	2	0.01	0.50

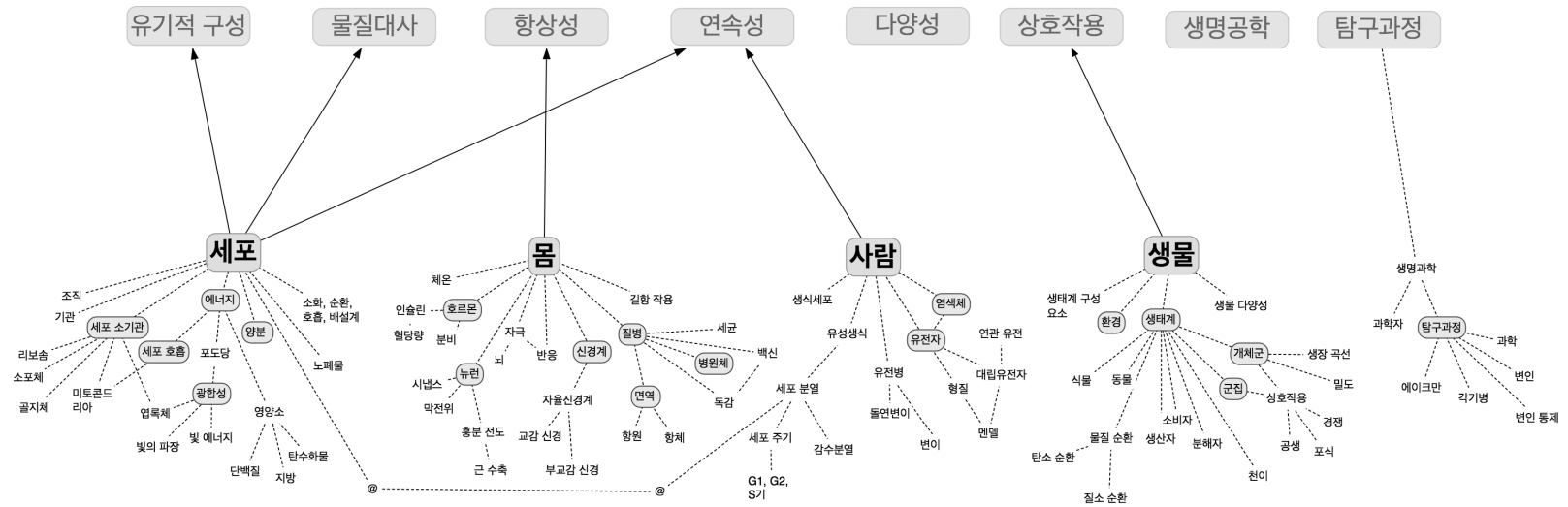
$F(A)$: 개념 A를 포함하는 관계의 빈도, $F(B)$: 개념 B를 포함하는 관계의 빈도, $F(\overrightarrow{AB})$: \overrightarrow{AB} 관계의 빈도
 $P(\overrightarrow{AB})$: A개념을 중심으로 한 \overrightarrow{AB} 관계의 근접도, $P(\overrightarrow{BA})$: B개념을 중심으로 한 \overrightarrow{AB} 관계의 근접도

앞서 분석한 4개의 주요 군집 외에도 <그림 IV-11>에서는 ‘생명과학-탐구과정-과학자’, ‘에이크만-각기병’과 같은 고유도가 높은 개념들의 관계가 나타나고 있는데(표 IV-62), 이는 교과서의 첫 번째 단원인 생명 과학의 이해 단원에서 다루고 있는 생명 과학의 이해 단원에 포함되고 있는 일

부 내용을 나타내는 것이다. 이와 관련한 내용은 중학교 교과서의 ‘과학이란’ 단원에서도 다루어지고 있다. 하지만 중학교 교과서에 대한 주요 개념 관계망(그림 IV-7)에서와 마찬가지로 시각화 결과(그림 IV-11)에서 고유의 영역을 형성하지 못하고 소수의 연결만 나타나고 있다. 이는 고등학교에서 과학과의 교육 내용이 선택과목에 따라 4개의 교과로 나뉘어져 가르쳐짐을 감안한다 하더라도, 과학 탐구과정과 관련된 내용의 강조 정도가 다른 주제들과 비교할 때 상대적으로 낮은 편임을 나타낸다고 볼 수 있다.

이상의 고등학교 생명과학 I 교과서에 대한 개념 관계망 분석을 통해 생명과학 I 에서 세포-에너지-양분 개념의 관계를 중심으로 한 생명의 유기적 구성과 물질 대사에 대한 내용, 사람-유전자-염색체 개념을 중심으로 한 생명의 연속성, 몸-호르몬-신경계 개념과 질병-병원체 개념을 중심으로 한 항상성과 면역에 대한 내용, ‘생물-생태계-환경’과 개체군-군집 등의 개념이 중심이 된 생명의 상호작용 특성에 대한 내용이 다루어지고 있음을 알 수 있었다.

〈그림 IV-12〉는 개념 관계망에서 나타난 핵심 개념을 중심으로 형성된 주요 관계와 그 관계들이 의미하는 핵심 주제를 분석하여 생명과학 I 에서 다루고 있는 생물학 내용의 수평적 연계성을 알아 본 결과이다. 세포 개념을 중심으로 생물의 유기적 구성과 물질대사, 연속성 주제에 대한 내용이 연계되고 있었고, 항상성과 상호작용 주제를 나타내는 개념군은 다른 주제와 연계성이 낮게 나타났다. 생명의 다양성과 생명 공학 주제에 대한 내용은 다루어지지 않고 있었고, 과학 탐구과정에 대한 내용은 생명과학의 이해 단원의 소단원에서 짧게 다루어지고 있었다.



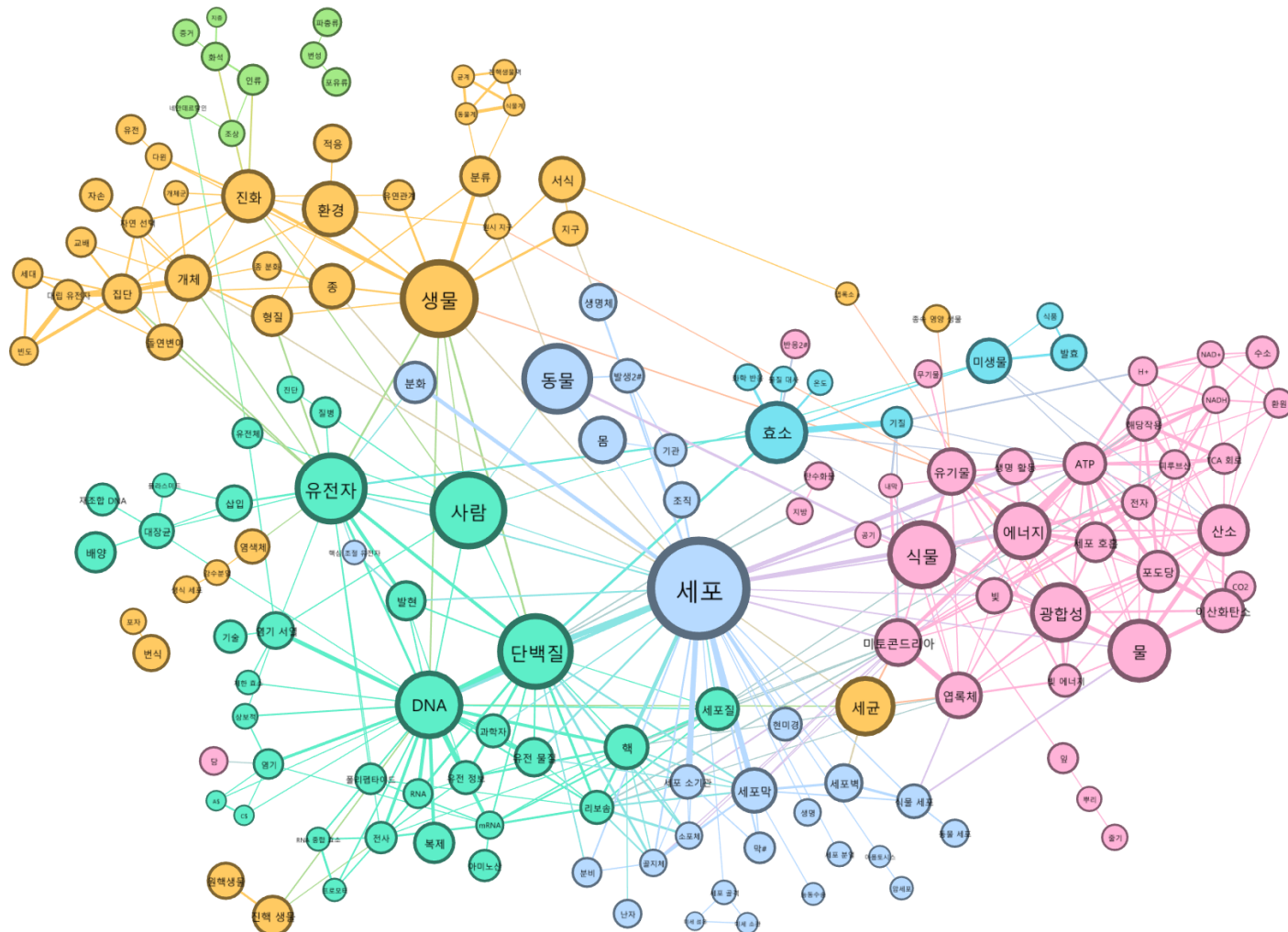
<그림 IV-12> 고등학교 생명과학 I 내용의 개념 체계와 수평적 연계성

5) 고등학교 생명과학Ⅱ 교과서 내용의 개념 체계와 수평적 연계성

고등학교 생명과학Ⅱ 교과서에서 제시되고 있는 생물학 지식의 내용과 체계를 알아보기 위해 주요 개념 관계망을 분석하고, 이를 바탕으로 생명과학Ⅱ의 내용의 수평적 연계성을 분석하였다.

세포와 물질대사, 유전자와 생명공학, 생물의 진화에 대한 3개의 대단원으로 구성된 고등학교 생명과학Ⅱ 교과서에는 다른 학교급의 교과서에 비하여 가장 많은 294개의 주요 개념이 포함되고 있었고, 주요 개념 관계망의 밀도는 0.77로 낮은 편이었다(표 IV-31). 주요 개념 관계망에서 개념 사이의 관계가 5회 이상 나타나고 있는 연결과 개념만을 포함시켜 시각화한 결과는 〈그림 IV-13〉과 같다.

생명과학Ⅱ 교과서에 포함된 주요 개념 중 가장 중심성이 높은 개념은 세포 개념으로 빈도와 연결정도, 사이중심성 모두 가장 높은 개념이었다(표 IV-76). 주요 개념 관계망에 대한 시각화 결과는 개념군의 분포에 따라 크게 4개의 영역으로 나눌 수 있었다. 관계망에는 세포 개념이 중심이 되어 세포의 구조에 대한 내용을 보여주는 개념군이 가운데 위치하였고, 그 오른쪽으로 ATP와 에너지를 중심으로 한 물질대사에 대한 개념군, 좌측 하단에는 유전자, 단백질, DNA 개념이 중심이 되어 유전자 발현에 대한 관계망을 형성한 개념군, 그 위쪽으로 생물, 분류, 진화 개념을 중심으로 한 개념군이 위치해 주요 개념들 사이의 관계를 형성하고 있었다(그림 IV-13).



Note. 노드의 크기는 각 개념의 연결정도에 비례, 연결선의 굵기는 관계의 가중치(≥5)에 비례, 노드의 색상은 노드의 군집에 따라 다름

<그림 IV-13> 고등학교 생명과학II 교과서의 주요 개념 관계망

<표 IV-76> 고등학교 생명과학Ⅱ 교과서의 주요 개념 (지수별 상위 30개)

빈도		연결정도		사이중심성		고유도	
개념	값	개념	값	개념	값	개념	값
세포	307	세포	145	세포	0.136	미세 소관	1.00
DNA	205	생물	104	사람	0.074	종 분화	1.00
효소	171	사람	102	동물	0.060	피루브산	1.00
생물	159	단백질	100	단백질	0.052	TCA 회로	1.00
단백질	149	유전자	94	생물	0.051	유연관계	1.00
ATP	130	동물	92	유전자	0.050	mRNA	1.00
유전자	129	식물	88	효소	0.048	진핵생물역	1.00
사람	116	DNA	87	식물	0.043	능동수송	1.00
에너지	115	물	79	DNA	0.031	아폽토시스	1.00
진화	114	효소	78	물	0.030	H ⁺	1.00
식물	109	광합성	74	광합성	0.025	세포 골격	1.00
물	106	세균	73	환경	0.024	네안데르탈인	1.00
광합성	98	에너지	70	세균	0.022	RNA 중합	1.00
						효소	
세포막	89	환경	67	몸	0.018	핵심 조절	1.00
집단	86	진화	63	산소	0.017	유전자	1.00
동물	85	산소	60	산소	0.017	NADH	1.00
미토콘드리아	78	유기물	55	진화	0.015	플라스미드	1.00
산소	71	미토콘드리아	54	에너지	0.015	프로모터	1.00
세균	70	몸	54	중	0.013	미세 섬유	1.00
엽록체	69	엽록체	52	유기물	0.011	기질	0.98
빛	66	개체	52	집단	0.009	해당작용	0.98
세포 호흡	65	서식	51	서식	0.009	진핵 생물	0.94
				개체	0.009	배아 줄기	0.94
핵	63	세포막	50	복제	0.009	세포	
포도당	63	중	50	세포막	0.009	재조합 DNA	0.94
기질	63	미생물	50	미생물	0.009	내막	0.93
유기물	62	핵	49	생명	0.009	전사	0.92
중	60	이산화탄소	48	과학자	0.009	폴리펩타이드	0.92
전자	58	ATP	47	미토콘드리아	0.009	제한 효소	0.91
세포 소기관	55	세포질	47	엽록체	0.008	전자	0.91
개체	55	포도당	45	이산화탄소	0.008	효소	0.90
						생명 공학	0.90

고등학교 생명과학Ⅱ 교과서의 주요 개념 관계망에서 나타난 주요 개념 군이 나타내는 내용과 특징을 분석한 결과는 다음과 같다.

첫 번째 개념군은 가장 높은 빈도와 연결정도, 사이중심성을 나타내어 전역적 중심성을 보인 세포 개념이 중심이 된 개념군이다(표 IV-76). 세포와 물질대사 단위 중 세포의 특성에 대한 내용을 주로 나타내고 있는 이 개념군에서는 세포 개념을 중심으로 핵, 세포막, 세포 소기관 등이 주요 개념으로 나타났고, 그 외에도 세포를 구성하는 여러 소기관을 나타내는 개념들이 포함되고 있었다(표 IV-77). 이 개념군에서 나타난 여러 세포 소기관들 사이의 관계를 통해 생명과학Ⅱ 교과서에서 세포 소기관의 구조와 기능 및 소기관 사이의 유기적 관계가 강조되고 있음을 알 수 있다. 특히 앞선 학교급의 교과서에서 주로 다루어진 핵, 엽록체, 미토콘드리아뿐만 아니라 리보솜, 소포체, 골지체 등의 개념이 나타나고 있어 세포의 구조와 기능에 대한 내용이 생명과학Ⅱ 교과서에서 더 강조되고 심화되어 다루어지고 있음을 보여준다(그림 IV-13). 또 리보솜, 소포체, 골지체 개념은 세 번째 개념군에 포함된 주요 개념인 단백질 개념과도 근접도가 높은 주요 관계를 형성하여 두 개념군 사이의 연계성을 나타내었다(표 IV-83). 이 개념군에 포함된 고유도가 높은 능동수송 개념을 통해 교과서에서 세포막을 물질 이동의 다양한 방식에 대한 설명이 포함되고 있음을 알 수 있다(표 IV-76).

<표 IV-77> 고등학교 생명과학Ⅱ 교과서에 나타난 ‘세포’ 개념 중심의 주요 관계

개념 A: 세포, $F(A)=307$					$P(\overline{BA}) \geq 0.5$ 이고 $F(\overline{AB})$ 상위의 주요 관계				
$P(\overline{AB})$ 상위의 주요 관계					상대 개념 (개념B)				
상대 개념 (개념B)	$F(\overline{AB})$	$F(B)$	$P(\overline{AB})$	$P(\overline{BA})$	상대 개념 (개념B)	$F(\overline{AB})$	$F(B)$	$P(\overline{AB})$	$P(\overline{BA})$
세포막	30	89	0.10	0.34	융합	9	12	0.03	0.75
단백질	29	149	0.09	0.19	세포질	8	11	0.03	0.73
세포 소기관	27	55	0.09	0.49	혹	4	4	0.01	1.00
생명 활동	22	34	0.07	0.65	음세포 작용	4	4	0.01	1.00
에너지	22	115	0.07	0.19	공생설	4	4	0.01	1.00
핵	20	63	0.07	0.32	소화	4	5	0.01	0.80
분화	20	38	0.07	0.53	형태 유지	4	5	0.01	0.80
DNA	16	205	0.05	0.08	슈반	3	3	0.01	1.00
현미경	15	42	0.05	0.36	슬라이덴	3	3	0.01	1.00
ATP	10	130	0.03	0.08	피르호	3	3	0.01	1.00

$F(A)$: 개념 A를 포함하는 관계의 빈도, $F(B)$: 개념 B를 포함하는 관계의 빈도, $F(\overline{AB})$: \overline{AB} 관계의 빈도
 $P(\overline{AB})$: A개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도, $P(\overline{BA})$: B개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도

두 번째 개념군은 ATP, 에너지, 미토콘드리아, 광합성, 엽록체 등의 주요 개념이 중심이 된 군집이었다. 이 개념군은 생명과학Ⅱ 교과서의 세포와 물질 대사 단원 중 세포와 에너지 중단원의 내용을 나타내는 주요 개념과 관계들이다. 이 개념군에서는 세포내에서 생명 활동에 필요한 에너지가 주로 ATP에 화학에너지로 저장되고 전환되어 사용되는 것, 광합성이 일어나는 장소와 과정, 세포 호흡이 일어나는 장소와 과정, 발효의 과정 등 생물의 물질대사와 관련하여 생명과학Ⅱ 교과서에서 강조되고 있는 내용을 알 수 있다(그림 IV-13, 표 IV-78 ~ 표 IV-80).

이와 관련하여 교과서에서는 세포 소기관인 미토콘드리아와 엽록체의 구조와 함께 생체막을 통한 에너지의 전환을 중심으로 세포 호흡의 산화적 인산화와 광합성의 명반응에 대한 내용이 다루어지고 있었다. 이 내용에서는 세포에서 일어나는 화학 반응과 관련된 ATP, NAD^+ , NADH , H^+ , 전자, 환원 등의 개념이 서로 복잡하게 얽힌 관계망이 생성되었다. 이 관계망을 통해 생명과학Ⅱ 교과서에서 세포 호흡의 해당작용, TCA 회로, 광합성의 명반응과 암반응 등 효소에 의한 생체내 화학 반응에 대한 내용이 강조되어 다루어지고 있음을 알 수 있다(그림 IV-13, 표 IV-79). 그리고 이와 관련된 다수의 주요 개념들이 고유도가 1이거나 매우 높은 값을 가지는 것으로 나타나고 있어 해당 내용들이 생명과학Ⅱ 교과서에서만 다루어지는 고유한 내용임을 알 수 있다(표 IV-76).

또 생명과학Ⅱ 교과서의 세포의 특성 단원의 하위 단원에서는 효소와 관련한 내용이 다루어지고 있었는데, 이와 관련하여 효소, 기질, 화학 반응, 발효 등의 개념이 물질대사에 대한 이 개념군과 가까이에서 군집을 형성하였다. 특히 효소와 기질 주요 개념은 각각 0.9, 0.98의 높은 고유도를 나타내 효소에 대한 내용이 생명과학Ⅱ에서만 주로 다루어짐을 알 수 있다(표 IV-76). 교과서에는 효소의 기능과 특성, 효소의 구성과 종류, 효소의 활성화에 영향을 미치는 요인 등에 대한 내용이 자세히 포함되고 있었다(표 IV-81).

<표 IV-78> 고등학교 생명과학Ⅱ 교과서에 나타난 ‘에너지’ 개념 중심의 주요 관계

개념 A: 에너지, $F(A)=115$

$P(\overrightarrow{AB})$ 상위의 주요 관계					$P(\overrightarrow{BA}) \geq 0.5$ 이고 $F(\overrightarrow{AB})$ 상위의 주요 관계				
상대 개념 (개념B)	$F(\overrightarrow{AB})$	$F(B)$	$P(\overrightarrow{AB})$	$P(\overrightarrow{BA})$	상대 개념 (개념B)	$F(\overrightarrow{AB})$	$F(B)$	$P(\overrightarrow{AB})$	$P(\overrightarrow{BA})$
ATP	31	130	0.27	0.24	전자 운반체	5	6	0.04	0.83
세포	22	307	0.19	0.07	화학	4	5	0.03	0.80
세포 호흡	21	65	0.18	0.32	무기 인산	3	6	0.03	0.50
유기물	20	62	0.17	0.32	세포 활동	2	2	0.02	1.00
전자	19	58	0.17	0.33	고에너지 인산 결합	2	2	0.02	1.00
생명 활동	13	34	0.11	0.38	바이오 에너지	2	3	0.02	0.67
물	9	106	0.08	0.08	태양 에너지	2	3	0.02	0.67
산소	8	71	0.07	0.11	전기 에너지	2	4	0.02	0.50
전자 전달계	8	26	0.07	0.31					
미토콘드리아	8	78	0.07	0.10					

$F(A)$: 개념 A를 포함하는 관계의 빈도, $F(B)$: 개념 B를 포함하는 관계의 빈도, $F(\overrightarrow{AB})$: \overrightarrow{AB} 관계의 빈도
 $P(\overrightarrow{AB})$: A개념을 중심으로 한 \overrightarrow{AB} 관계의 근접도, $P(\overrightarrow{BA})$: B개념을 중심으로 한 \overrightarrow{AB} 관계의 근접도

<표 IV-79> 고등학교 생명과학Ⅱ 교과서에 나타난 ‘ATP’ 개념 중심의 주요 관계

개념 A: ATP, $F(A)=130$

$P(\overrightarrow{AB})$ 상위의 주요 관계					$P(\overrightarrow{BA}) \geq 0.5$ 이고 $F(\overrightarrow{AB})$ 상위의 주요 관계				
상대 개념 (개념B)	$F(\overrightarrow{AB})$	$F(B)$	$P(\overrightarrow{AB})$	$P(\overrightarrow{BA})$	상대 개념 (개념B)	$F(\overrightarrow{AB})$	$F(B)$	$P(\overrightarrow{AB})$	$P(\overrightarrow{BA})$
에너지	31	115	0.24	0.27	ATP 합성 효소	11	17	0.08	0.65
포도당	23	63	0.18	0.37	FADH2	10	20	0.08	0.50
NADH	20	39	0.15	0.51	화학 삼투	7	13	0.05	0.54
ADP	19	21	0.15	0.90	기질 수준 인산화	6	6	0.05	1.00
NADPH	18	26	0.14	0.69	무기 인산	5	6	0.04	0.83
세포 호흡	18	65	0.14	0.28	포도당 1분자	3	4	0.02	0.75
해당작용	17	51	0.13	0.33	광인산화	3	4	0.02	0.75
미토콘드리아	16	78	0.12	0.21	과당 2인산	3	4	0.02	0.75
H ⁺	14	39	0.11	0.36	전자 전달	3	5	0.02	0.60
피루브산	12	33	0.09	0.36	에너지원	3	5	0.02	0.60

$F(A)$: 개념 A를 포함하는 관계의 빈도, $F(B)$: 개념 B를 포함하는 관계의 빈도, $F(\overrightarrow{AB})$: \overrightarrow{AB} 관계의 빈도
 $P(\overrightarrow{AB})$: A개념을 중심으로 한 \overrightarrow{AB} 관계의 근접도, $P(\overrightarrow{BA})$: B개념을 중심으로 한 \overrightarrow{AB} 관계의 근접도

<표 IV-80> 고등학교 생명과학Ⅱ 교과서에 나타난 ‘광합성’ 개념 중심의 주요 관계

개념 A: 광합성, $F(A)=98$

$P(\overrightarrow{AB})$ 상위의 주요 관계					$P(\overrightarrow{BA}) \geq 0.5$ 이고 $F(\overrightarrow{AB})$ 상위의 주요 관계				
상대 개념 (개념B)	$F(\overrightarrow{AB})$	$F(B)$	$P(\overrightarrow{AB})$	$P(\overrightarrow{BA})$	상대 개념 (개념B)	$F(\overrightarrow{AB})$	$F(B)$	$P(\overrightarrow{AB})$	$P(\overrightarrow{BA})$
빛 에너지	16	38	0.16	0.42	반응식	4	5	0.04	0.80
식물	15	109	0.15	0.14	인공 광합성	4	8	0.04	0.50
물	15	106	0.15	0.14	에너지 전환	4	8	0.04	0.50
산소	12	71	0.12	0.17	낮	3	5	0.03	0.60
이산화탄소	11	53	0.11	0.21	과학사	3	6	0.03	0.50
세포 호흡	11	65	0.11	0.17	생활사	2	2	0.02	1.00
유기물	10	62	0.10	0.16	환경 요인	2	2	0.02	1.00
엽록체	10	69	0.10	0.14	다세포 생물	2	3	0.02	0.67
포도당	9	63	0.09	0.14	एंगल만	2	3	0.02	0.67
화학 에너지	5	20	0.05	0.25	태양 에너지	2	3	0.02	0.67

$F(A)$: 개념 A를 포함하는 관계의 빈도, $F(B)$: 개념 B를 포함하는 관계의 빈도, $F(\overrightarrow{AB})$: \overrightarrow{AB} 관계의 빈도
 $P(\overrightarrow{AB})$: A개념을 중심으로 한 \overrightarrow{AB} 관계의 근접도, $P(\overrightarrow{BA})$: B개념을 중심으로 한 \overrightarrow{AB} 관계의 근접도

<표 IV-81> 고등학교 생명과학Ⅱ 교과서에 나타난 ‘효소’ 개념 중심의 주요 관계

개념 A: 효소, $F(A)=171$

$P(\overrightarrow{AB})$ 상위의 주요 관계					$P(\overrightarrow{BA}) \geq 0.5$ 이고 $F(\overrightarrow{AB})$ 상위의 주요 관계				
상대 개념 (개념B)	$F(\overrightarrow{AB})$	$F(B)$	$P(\overrightarrow{AB})$	$P(\overrightarrow{BA})$	상대 개념 (개념B)	$F(\overrightarrow{AB})$	$F(B)$	$P(\overrightarrow{AB})$	$P(\overrightarrow{BA})$
기질	32	63	0.19	0.51	촉매 작용	7	8	0.04	0.88
활성 부위	21	23	0.12	0.91	저해	6	7	0.04	0.86
화학 반응	13	23	0.08	0.57	활성화 에너지	6	11	0.04	0.55
기질 복합체	13	13	0.08	1.00	보조 인자	5	7	0.03	0.71
단백질	13	149	0.08	0.09	촉매	4	6	0.02	0.67
온도	11	30	0.06	0.37	테이텀	4	7	0.02	0.57
pH	10	16	0.06	0.62	기질 특이성	3	4	0.02	0.75
유전자	10	129	0.06	0.08	비경쟁적 저해제	3	6	0.02	0.50
반응 속도	10	22	0.06	0.45	변성	2	3	0.01	0.67
반응2#	9	20	0.05	0.45	구조 유전자	2	3	0.01	0.67

$F(A)$: 개념 A를 포함하는 관계의 빈도, $F(B)$: 개념 B를 포함하는 관계의 빈도, $F(\overrightarrow{AB})$: \overrightarrow{AB} 관계의 빈도
 $P(\overrightarrow{AB})$: A개념을 중심으로 한 \overrightarrow{AB} 관계의 근접도, $P(\overrightarrow{BA})$: B개념을 중심으로 한 \overrightarrow{AB} 관계의 근접도

세 번째 개념군에는 생명과학Ⅱ 교과서의 유전자와 생명공학 단원의 내용 중 유전자와 형질의 발현에 대하여 DNA, 유전자, 단백질, 발현, 염기서열 등의 주요 개념을 중심으로 한 관계망이 나타나고 있었다(그림 IV-13).

이 개념군에서 나타나는 개념들의 관계를 통해 유전 물질인 DNA의 구조와 기능, DNA 복제의 과정, 유전자로부터 단백질이 합성되는 과정, 원핵생물과 진핵생물에서 나타나는 유전자 발현의 조절 과정에 대한 내용이 생명과학Ⅱ 교과서에서 강조되고 있음을 보여준다(그림 IV-13, 표 IV-82 ~ 표 IV-84). 이 개념군의 주요 개념 중 mRNA, 핵심 조절 유전자, 프로모터 등의 개념은 고유도가 1로 나타나 유전자의 발현과 조절에 관련된 내용이 생명과학Ⅱ 교과서에서만 주로 다루어지는 고유한 내용임을 알 수 있었다(표 IV-76).

또 이 개념군에는 재조합 DNA, 대장균, 플라스미드, 제한 효소 등 생명공학 기술과 관련된 개념들도 함께 포함되고 있었다(그림 IV-13). 생명과학Ⅱ 교과서의 유전자와 생명공학 단원에는 유전자의 발현과 조절에 대한 내용과 함께 다양한 생명공학 기술이 소개되고 있어 해당 주요 개념들이 하나의 개념군을 형성하고 있음을 알 수 있다(표 IV-84).

<표 IV-82> 고등학교 생명과학Ⅱ 교과서에 나타난 ‘DNA’ 개념 중심의 주요 관계

개념 A: DNA, $F(A)=205$					$P(\overrightarrow{BA}) \geq 0.5$ 이고 $F(\overrightarrow{AB})$ 상위의 주요 관계				
상대 개념 (개념B)	$F(\overrightarrow{AB})$	$F(B)$	$P(\overrightarrow{AB})$	$P(\overrightarrow{BA})$	상대 개념 (개념B)	$F(\overrightarrow{AB})$	$F(B)$	$P(\overrightarrow{AB})$	$P(\overrightarrow{BA})$
단백질	36	149	0.18	0.24	크릭	11	21	0.05	0.52
유전 정보	27	37	0.13	0.73	왓슨	11	22	0.05	0.50
염기 서열	21	50	0.10	0.42	윌킨스	10	10	0.05	1.00
유전 물질	20	49	0.10	0.41	프랭클린	10	13	0.05	0.77
RNA	18	32	0.09	0.56	2중 나선	8	11	0.04	0.73
mRNA	17	42	0.08	0.40	RNA 중합 효소	8	16	0.04	0.50
복제	17	33	0.08	0.52	X선 회절 사진	6	6	0.03	1.00
핵	16	63	0.08	0.25	C\$	5	9	0.02	0.56
세포	16	307	0.08	0.05	A\$	5	9	0.02	0.56
전사	15	35	0.07	0.43	유전 암호	4	7	0.02	0.57

$F(A)$: 개념 A를 포함하는 관계의 빈도, $F(B)$: 개념 B를 포함하는 관계의 빈도, $F(\overrightarrow{AB})$: \overrightarrow{AB} 관계의 빈도
 $P(\overrightarrow{AB})$: A개념을 중심으로 한 \overrightarrow{AB} 관계의 근접도, $P(\overrightarrow{BA})$: B개념을 중심으로 한 \overrightarrow{AB} 관계의 근접도

<표 IV-83> 고등학교 생명과학Ⅱ 교과서에 나타난 ‘단백질’ 개념 중심의 주요 관계

개념 A: 단백질, $F(A)=149$

$P(\overrightarrow{AB})$ 상위의 주요 관계					$P(\overrightarrow{BA}) \geq 0.5$ 이고 $F(\overrightarrow{AB})$ 상위의 주요 관계				
상대 개념 (개념B)	$F(\overrightarrow{AB})$	$F(B)$	$P(\overrightarrow{AB})$	$P(\overrightarrow{BA})$	상대 개념 (개념B)	$F(\overrightarrow{AB})$	$F(B)$	$P(\overrightarrow{AB})$	$P(\overrightarrow{BA})$
DNA	36	205	0.24	0.18	지방	8	11	0.05	0.73
세포	29	307	0.19	0.09	번역	8	13	0.05	0.62
유전자	17	129	0.11	0.13	운반 소낭	7	9	0.05	0.78
유전 정보	14	37	0.09	0.38	탄수화물	7	13	0.05	0.54
효소	13	171	0.09	0.08	분비	7	14	0.05	0.50
리보솜	13	44	0.09	0.30	미세 섬유	4	8	0.03	0.50
RNA	12	32	0.08	0.38	마이오신	3	4	0.02	0.75
골지체	12	22	0.08	0.55	액틴	3	6	0.02	0.50
소포체	11	24	0.07	0.46	거친면 소포체	3	6	0.02	0.50
발현	10	44	0.07	0.23	유전자 부위	2	3	0.01	0.67

$F(A)$: 개념 A를 포함하는 관계의 빈도, $F(B)$: 개념 B를 포함하는 관계의 빈도, $F(\overrightarrow{AB})$: \overrightarrow{AB} 관계의 빈도
 $P(\overrightarrow{AB})$: A개념을 중심으로 한 \overrightarrow{AB} 관계의 근접도, $P(\overrightarrow{BA})$: B개념을 중심으로 한 \overrightarrow{AB} 관계의 근접도

<표 IV-84> 고등학교 생명과학Ⅱ 교과서에 나타난 ‘유전자’ 개념 중심의 주요 관계

개념 A: 유전자, $F(A)=129$

$P(\overrightarrow{AB})$ 상위의 주요 관계					$P(\overrightarrow{BA}) \geq 0.5$ 이고 $F(\overrightarrow{AB})$ 상위의 주요 관계				
상대 개념 (개념B)	$F(\overrightarrow{AB})$	$F(B)$	$P(\overrightarrow{AB})$	$P(\overrightarrow{BA})$	상대 개념 (개념B)	$F(\overrightarrow{AB})$	$F(B)$	$P(\overrightarrow{AB})$	$P(\overrightarrow{BA})$
발현	19	44	0.15	0.43	치환	3	3	0.02	1.00
단백질	17	149	0.13	0.11	모건	3	4	0.02	0.75
DNA	12	205	0.09	0.06	유전병	3	6	0.02	0.50
생물	10	159	0.08	0.06	조절 작용	2	2	0.02	1.00
삽입	10	27	0.08	0.37	단백질설	2	2	0.02	1.00
효소	10	171	0.08	0.06	1 유전자 1 효소설	2	2	0.02	1.00
형질	10	49	0.08	0.20	유전자 돌연변이	2	3	0.02	0.67
돌연변이	8	26	0.06	0.31	서턴	2	4	0.02	0.50
집단	8	86	0.06	0.09	오페론	2	4	0.02	0.50
세포	8	307	0.06	0.03	유전자 치료법	1	2	0.01	0.50

$F(A)$: 개념 A를 포함하는 관계의 빈도, $F(B)$: 개념 B를 포함하는 관계의 빈도, $F(\overrightarrow{AB})$: \overrightarrow{AB} 관계의 빈도
 $P(\overrightarrow{AB})$: A개념을 중심으로 한 \overrightarrow{AB} 관계의 근접도, $P(\overrightarrow{BA})$: B개념을 중심으로 한 \overrightarrow{AB} 관계의 근접도

한편, 교과서에서는 생명공학 기술이 실생활에 적용된 사례를 알아보고 그에 따라 발생하는 사회적 쟁점에 대한 합리적 의사결정 능력과 올바른 생명 윤리 의식을 기르기 위한 내용도 포함되어 있었다. 하지만 시각화 결과에서는 관련 내용들이 분명하게 나타나지 않아 해당 내용들이 상대적으로 강조되지 못하고 있음을 알 수 있다.

마지막 개념군은 생명과학Ⅱ 교과서의 마지막 단원인 생물의 진화 단원의 내용을 나타내는 개념군이다. 이 개념군에서는 생물, 진화, 환경, 분류, 집단, 개체, 종 등의 주요 개념이 포함되고 있었고, 생물의 진화와 생물의 분류에 대한 내용을 중심으로 생명의 다양성과 관련하여 교과서에서 강조되고 있는 내용을 볼 수 있다. 개념군에 포함된 주요 개념 중 가장 높은 빈도를 나타낸 생물 개념은 연결정도는 높았지만 사이중심성은 다른 개념군의 대표 개념들에 비하여 상대적으로 낮게 나타나고 있었다(표 IV-76). 이는 생명과학Ⅱ에서 생물 개념이 전역적 중심성을 나타내기 보다는 분류, 진화 개념과 함께 생물의 다양성과 관련된 개념들과 주로 관계를 형성하는 지역적 중심성을 나타내고 있음을 보여준다(표 IV-85).

생물의 진화와 관련해서는 진화의 원리로서 돌연변이, 자연선택, 교배과정에서의 선택 등 개체군에서 발생하는 유전자 빈도의 변화로 인해 종 분화와 진화가 일어나게 됨을 설명하는 내용이 교과서에서 중심으로 다루어짐을 보여준다. 또, 화석 등 생물의 진화에 대한 다양한 증거와 인류를 포함한 생물 진화의 역사가 주요 내용으로 다루어지고 있음을 보여주는 관계도 나타났다(표 IV-86). 고유도가 높게 나타나고 있는 종 분화(1.0), 집단(0.85), 자연 선택(0.75) 등의 주요 개념을 통해 진화의 원리에 대한 내용은 교육과정 전체에서 볼 때 생명과학Ⅱ에서 집중적으로 다루어지고 있음을 알 수 있다(그림 IV-13).

생물의 다양성과 관련하여서는 교과서에서 생물 분류의 정의와 종의 개념, 3역 6계 생물 분류 체계에 대한 내용이 다루어지고 있었다(표 IV-85, 표 IV-87). 교과서의 관련 내용에는 생물의 분류 체계와 분류 계급과 관련하여 매우 다양한 개념들과 각 생물계의 특징에 대한 내용이 포함되고 있었다. 하지만 주요 개념 관계망이 시각화 결과에는 관련 개념들이 나타나지 않고 있었다(그림 IV-13). 이는 교과서의 내용이 다수의 개념을 특별한 강조 점 없이 나열식으로 제시하고 있었기 때문이다.

<표 IV-85> 고등학교 생명과학Ⅱ 교과서에 나타난 ‘생물’ 개념 중심의 주요 관계

개념 A: 생물, $F(A)=159$					$P(\overline{BA}) \geq 0.5$ 이고 $F(\overline{AB})$ 상위의 주요 관계				
$P(\overline{AB})$ 상위의 주요 관계					$P(\overline{BA}) \geq 0.5$ 이고 $F(\overline{AB})$ 상위의 주요 관계				
상대 개념 (개념B)	$F(\overline{AB})$	$F(B)$	$P(\overline{AB})$	$P(\overline{BA})$	상대 개념 (개념B)	$F(\overline{AB})$	$F(B)$	$P(\overline{AB})$	$P(\overline{BA})$
분류	19	44	0.12	0.43	계통	6	6	0.04	1.00
진화	18	114	0.11	0.16	분류 체계	5	9	0.03	0.56
지구	12	36	0.08	0.33	분류 계급	4	6	0.03	0.67
유연관계	11	24	0.07	0.46	린네	3	4	0.02	0.75
유전자	10	129	0.06	0.08	3억 6계	3	4	0.02	0.75
단백질	10	149	0.06	0.07	5계 분류 체계	3	5	0.02	0.60
환경	9	43	0.06	0.21	라마르크	3	6	0.02	0.50
종	9	60	0.06	0.15	형태학적 종	2	2	0.01	1.00
DNA	8	205	0.05	0.04	계통 유연관계	2	3	0.01	0.67
서식	7	38	0.04	0.18	생존 경쟁	2	3	0.01	0.67

$F(A)$: 개념 A를 포함하는 관계의 빈도, $F(B)$: 개념 B를 포함하는 관계의 빈도, $F(\overline{AB})$: \overline{AB} 관계의 빈도
 $P(\overline{AB})$: A개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도, $P(\overline{BA})$: B개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도

<표 IV-86> 고등학교 생명과학Ⅱ 교과서에 나타난 ‘진화’ 개념 중심의 주요 관계

개념 A: 진화, $F(A)=114$					$P(\overline{BA}) \geq 0.5$ 이고 $F(\overline{AB})$ 상위의 주요 관계				
$P(\overline{AB})$ 상위의 주요 관계					$P(\overline{BA}) \geq 0.5$ 이고 $F(\overline{AB})$ 상위의 주요 관계				
상대 개념 (개념B)	$F(\overline{AB})$	$F(B)$	$P(\overline{AB})$	$P(\overline{BA})$	상대 개념 (개념B)	$F(\overline{AB})$	$F(B)$	$P(\overline{AB})$	$P(\overline{BA})$
생물	18	159	0.16	0.11	현대 종합설	5	9	0.04	0.56
자연 선택	10	33	0.09	0.30	수중 생활	4	7	0.04	0.57
인류	9	33	0.08	0.27	말	3	5	0.03	0.60
다윈	9	28	0.08	0.32	계통	3	6	0.03	0.50
화석	9	46	0.08	0.20	집단 유전학	2	2	0.02	1.00
집단	8	86	0.07	0.09	원시 진핵 세포	2	2	0.02	1.00
환경	8	43	0.07	0.19	바실로사우르스	2	2	0.02	1.00
개체군	7	14	0.06	0.50	야생 에머밀	2	3	0.02	0.67
돌연변이	6	26	0.05	0.23	원시 생명체	2	3	0.02	0.67
공통 조상	6	19	0.05	0.32	유전학	2	4	0.02	0.50

$F(A)$: 개념 A를 포함하는 관계의 빈도, $F(B)$: 개념 B를 포함하는 관계의 빈도, $F(\overline{AB})$: \overline{AB} 관계의 빈도
 $P(\overline{AB})$: A개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도, $P(\overline{BA})$: B개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도

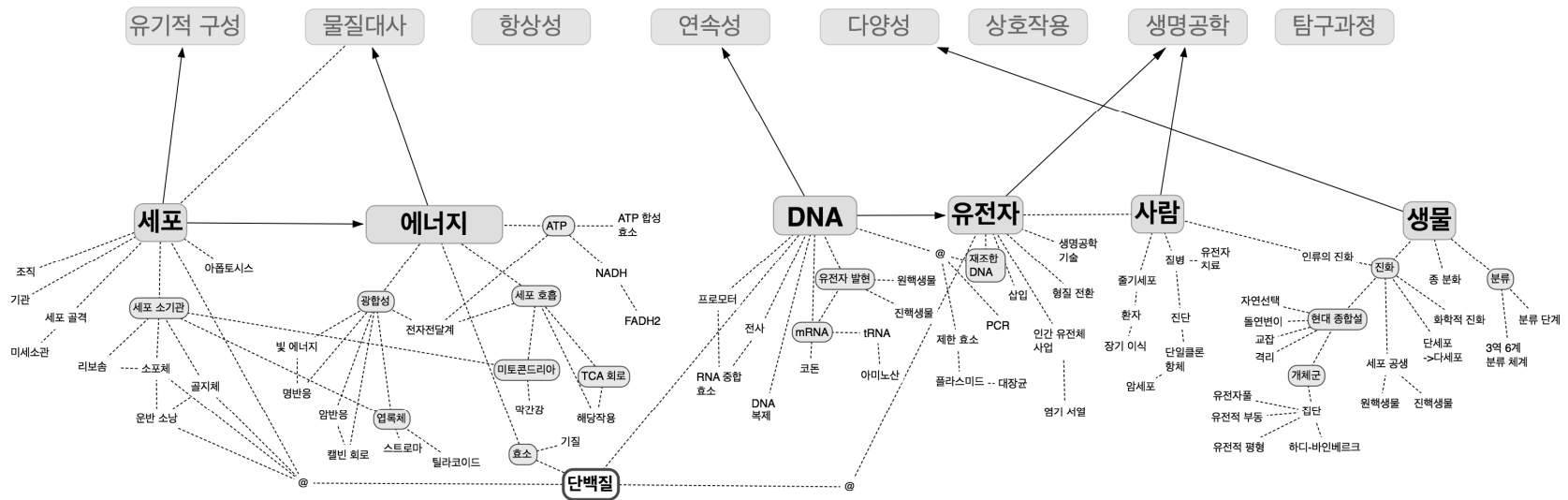
<표 IV-87> 고등학교 생명과학Ⅱ 교과서에 나타난 ‘분류’ 개념 중심의 주요 관계

개념 A: 분류, $F(A)=44$					$P(\overline{BA}) \geq 0.5$ 이고 $F(\overline{AB})$ 상위의 주요 관계				
$P(\overline{AB})$ 상대 개념 (개념B)	$F(\overline{AB})$	$F(B)$	$P(\overline{AB})$	$P(\overline{BA})$	$P(\overline{BA}) \geq 0.5$ 이고 상대 개념 (개념B)	$F(\overline{AB})$	$F(B)$	$P(\overline{AB})$	$P(\overline{BA})$
생물	19	159	0.43	0.12	인위 분류	3	3	0.07	1.00
종	6	60	0.14	0.10	린네	3	4	0.07	0.75
동물	6	85	0.14	0.07	형태학적 종	2	2	0.05	1.00
동물계	5	21	0.11	0.24	자낭	2	3	0.05	0.67
식물계	5	21	0.11	0.24	진화 계통	2	3	0.05	0.67
원생생물계	4	16	0.09	0.25	자연 분류	2	3	0.05	0.67
몸	4	32	0.09	0.12	생물학적 종	2	4	0.05	0.50
종자	4	10	0.09	0.40	서식지	2	4	0.05	0.50
균계	3	17	0.07	0.18	증배엽	2	4	0.05	0.50
유연관계	3	24	0.07	0.12	진화적 관계	1	1	0.02	1.00

$F(A)$: 개념 A를 포함하는 관계의 빈도, $F(B)$: 개념 B를 포함하는 관계의 빈도, $F(\overline{AB})$: \overline{AB} 관계의 빈도
 $P(\overline{AB})$: A개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도, $P(\overline{BA})$: B개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도

고등학교 생명과학Ⅱ 교과서에 대한 분석을 통해 생명과학Ⅱ 교과서에 서는 생물의 유기적 구성과 관련하여 여러 세포 소기관을 중심으로 한 세포의 구조와 기능에 대해 심화된 내용, 세포에서 일어나는 주요 물질 대사와 관련된 광합성과 세포 호흡에 대해 심화된 내용, 생명의 연속성과 관련하여 DNA, 유전자, 단백질 개념이 중심이 된 유전자 발현과 조절에 대한 내용, 재조합 DNA, 제한 효소 등 다양한 생명공학 기술에 대한 내용, 생물의 다양성과 관련하여 생물의 분류와 생물 진화에 대한 내용이 중심적으로 다루어지고 있었다.

이상의 분석에서 나타난 생명과학Ⅱ에 포함되고 있는 생물학의 핵심 주제들 사이의 수평적 연계성은 <그림 IV-14>와 같이 요약될 수 있다. 유기적 구성 주제와 관련하여서 세포 소기관의 기능과 그들 사이의 유기적 관계가 심화되어 다루어진 내용이 물질대사, 연속성 주제와 높은 연계성을 나타내고 있었다. 생물의 진화와 생물의 분류에 대한 내용은 다른 개념군과의 연결정도가 낮고 생물의 다양성 주제만 고유하게 나타내고 있어, 다양성 주제가 다른 주제들과 연계성이 낮은 것으로 나타났다. 항상성, 상호작용, 탐구 과정 주제는 생명과학Ⅱ에서 다루어지지 않고 있었다.



<그림 IV-14> 고등학교 생명과학II 내용의 개념 체계와 수평적 연계성

4. 생명 영역의 핵심 주제에 대한 학교급별 연계성

앞서 학교급별 교과서 생명 영역의 내용 전체에 대한 분석을 통해 현행 교육과정에서 가르쳐지는 생물 교과 내용의 구조와 체계를 전체적으로 조망하고, 다음으로 각 학교급별 교과서의 주요 개념 관계망과 교과서의 전체적인 내용에서 나타나는 연계성을 분석하였다. 앞선 분석에서는 분석의 범위를 학교급별 교과서의 내용 전체로 하였기 때문에 각 학교급 내에서 함께 다루어지는 핵심 주제들의 수평적 연계성을 살펴볼 수 있었다.

학교급별 교과서 내용 전체에 대한 분석에서는 328개의 주요 개념만을 포함하여 주요 개념 관계망을 생성하고 분석하였기 때문에 전체적인 변화를 보는 데는 효과적이었으나 주요 개념 이외의 세부 개념들이 어떤 관계를 형성하는지 알아보는 데에는 한계가 있었다. 따라서 생물학 지식을 이루는 핵심 주제에 대한 내용이 학년이 올라감에 따라 어떻게 심화되고 있는지에 대한 수직적 연계성의 분석을 위해서는 각 핵심 주제와 관련된 세부적인 개념들을 모두 포함하여 그 개념들의 관계가 학교급별로 어떻게 변화되고 있는지를 분석하였다. 모든 학교급의 교과서 전체에서 각 핵심 주제에 해당하는 내용만(표 III-2 ~ 표 III-7)을 개념 관계망으로 구성된 핵심 주제별 관계망의 네트워크 특성은 <표 IV-88>과 같다.

<표 IV-88> 학교급 전체에 대한 핵심 주제별 개념 관계망의 구조적 특성

핵심 주제	개념 수(%)	연결 수	평균 연결정도	평균 연결 가중치	지름	밀도
유기적 구성	725 (15)	4,585	12.6	1.62	6	0.017
물질대사	1,403 (28)	10,987	15.7	2.07	7	0.011
항상성	927 (19)	6,750	14.6	1.74	6	0.016
연속성	1,267 (25)	9,523	15.0	1.89	7	0.012
다양성	1,800 (36)	14,180	15.8	1.54	7	0.009
상호작용	922 (19)	6,338	13.7	1.40	7	0.015
생명공학	1,076 (22)	6,545	12.2	1.26	7	0.011
탐구과정	358 (8)	1,350	7.5	1.23	7	0.021
전체 개념 수	5,073 (100)					

1) ‘유기적 구성’ 주제에 대한 학교급별 개념 관계망 및 연계성

생명의 유기적 구성 핵심 주제가 각 학교급별로 교과서에서 어떻게 다루어지고 있는지 알아보기 위하여 해당 내용에 대한 개념 관계망 분석을 수행하였다. 학교급별 관계망의 네트워크 특성은 <표 IV-89>와 같았다. 생물의 유기적 구성에 대한 내용은 학교급에 따라 교과서에 포함된 개념 수의 비율이 꾸준히 증가하고 있어 내용의 심화가 학교급이 올라감에 따라 고르게 이루어지고 있음을 알 수 있었고, 개념 간 관계가 반복적으로 강조되는 정도는 중학교 과학 교과서에서 1.94로 가장 높게 나타났다.

각 관계망의 시각화 결과는 <그림 IV-15>부터 <그림 IV-19>까지, 각 관계망의 주요 관계를 분석한 결과는 <표 IV-90>부터 <표 IV-94>까지 제시하였다. 관계망의 시각화 결과와 주요 관계 분석 결과를 교과서의 내용과 연결 지어 분석하고 이를 통해 학교급별 교과서에서 유기적 구성 핵심 주제로 다루고 있는 내용과 특징을 알아본 결과는 다음과 같다.

<표 IV-89> ‘유기적 구성’에 대한 학교급별 개념 관계망의 구조적 특성

학교급	개념 수(%)	연결 수	평균 연결정도	평균 연결가중치	지름	밀도
초등학교 과학	50 (7)	127	5.1	1.26	8	0.104
중학교 과학	106 (15)	487	9.2	1.94	5	0.088
고등학교 과학	247 (35)	1,207	9.8	1.25	6	0.040
고등학교 생명과학 I	279 (39)	1,417	10.2	1.23	5	0.037
고등학교 생명과학 II	355 (49)	1,918	10.8	1.59	6	0.031
영역 전체	725 (100)	4,585	12.6	1.62	6	0.017

(1) 초등학교 과학 교과서에 포함된 ‘유기적 구성’에 대한 개념 관계망

〈그림 IV-15〉는 초등학교 교과서에 포함된 ‘생물의 유기적 구성’ 관련 내용에 대한 개념 관계망이다. 초등학교에서는 생명의 유기적 구성에 대한 내용이 5-6학년군의 식물의 구조와 기능 단원에 포함된 현미경 사용법에 대한 내용에서 생물을 이루는 기본 단위로서 세포 개념이 제시되고 있었다. 현미경 사용법은 2007 개정 교육과정에서는 중학교에서 다루어지던 내용이 2009 개정 교육과정에서 초등학교로 이동된 내용으로 초등학교 교과서에서 식물 세포를 관찰하는 활동으로 그 사용법을 익히도록 안내되고 있다. 세포의 구조와 관련해서는 핵에 대한 내용만 포함되고 있고, 자세히 다루고 있지는 않았다. 또 우리 몸의 구조와 기능 단원의 정리 내용에서는 인체를 구성하는 각 기관의 유기적 관계가 설명되고 있었다.

초등학교 교과서에서는 생명의 유기적 구성을 나타내는 핵심 개념과 관계는 현미경 - (식물)세포 - 식물로 나타냈다(표 IV-90).

(2) 중학교 과학 교과서에 포함된 ‘유기적 구성’에 대한 개념 관계망

〈그림 IV-16〉은 중학교 교과서에 포함된 ‘유기적 구성’ 핵심 주제에 대한 개념 관계망이다. 중학교 과학1 교과서 광합성 단원의 식물의 구성 중단원에서는 세포 개념이 중심이 되어 생명의 유기적 구성에 대한 내용이 다루지고 있다.

먼저 세포의 구조에 대하여 세포를 이루는 주요 소기관에 대한 개념들이 식물 세포와 동물 세포의 비교를 통해 제시되고 있었다. 세포 소기관은 핵, 엽록체, 미토콘드리아, 액포까지만 다루고 있고, 식물 세포와 동물 세포의 주요한 차이로 세포벽과 엽록체, 액포의 유무를 들어 설명하고 있었다. 또 과학1의 식물의 구성 중단원과 함께 과학2 교과서 소화·순환·호흡·배설 단원 중 소화 단원의 소단원 내용 일부에서는 동물과 식물의 유기적 구성 단계에 대한 내용을 설명하고 있었다. 가장 작은 단위인 세포에서 시작하여 조직-조직계-기관-식물체, 조직-기관-기관계-동물체에 이르는 생물

체의 구성단계가 식물의 구조와 인체의 구조를 예로 들어 설명되고 있었다.

초등학교에서는 식물체와 동물체(인체)가 여러 기관으로 구성되어 있고, 그 기본 단위는 세포이다 정도만 다루었다면, 중학교에서는 세포 이상의 수준에서의 구성 단계의 위계와 세포 이하 수준에서는 세포를 이루는 주요 소기관과 구조에 대한 안내가 이루어지고 있음을 알 수 있다.

중학교 교과서에서 생명의 유기적 구성을 나타내는 핵심 개념과 관계는 동물 세포 - 식물 세포, 세포 - 조직 - 기관 - 개체의 관계로 나타났다(표 IV-91).

(3) 고등학교 과학 교과서에 포함된 ‘유기적 구성’에 대한 개념 관계망

〈그림 IV-17〉은 고등학교 과학 교과서에 포함된 ‘생물의 유기적 구성’ 관련 내용에 대한 개념 관계망이다. 고등학교 과학에서는 생명의 진화 단위의 생명체의 기본 요소 소단원에서 생명의 유기적 구성에 대한 내용으로 생명체를 구성하고 생명 현상의 주요 유기물과 무기물 대해 설명이 되고 있었다. 중학교까지는 영양소가 생명체를 구성 한다 정도만 안내되던 것이 고등학교 과학 교과서에서는 유기물과 무기물을 구분하고 생명 현상을 가능케 하는 주요 유기물을 구성하는 물질이 분자 수준에서 안내되고 있었고, 이와 관련지어 원시 지구에서 생명체가 탄생하기까지의 화학적 진화의 내용이 해당 교과서에서 다루어진다고(표 IV-92).

고등학교 과학 교과서에서 생명의 유기적 구성을 나타내는 핵심 개념과 관계는 탄수화물-단백질-지질-생명체의 관계와 DNA의 등의 유기물과 탄소, 수소, 산소 등이었다(표 IV-92).

(4) 고등학교 생명과학 I 교과서에 포함된 ‘유기적 구성’에 대한 개념 관계망

〈그림 IV-18〉은 고등학교 생명과학 I 에 포함된 ‘생물의 유기적 구성’ 관련 내용에 대한 개념 관계망이다. 고등학교 생명과학 I 교과서의 도입 단

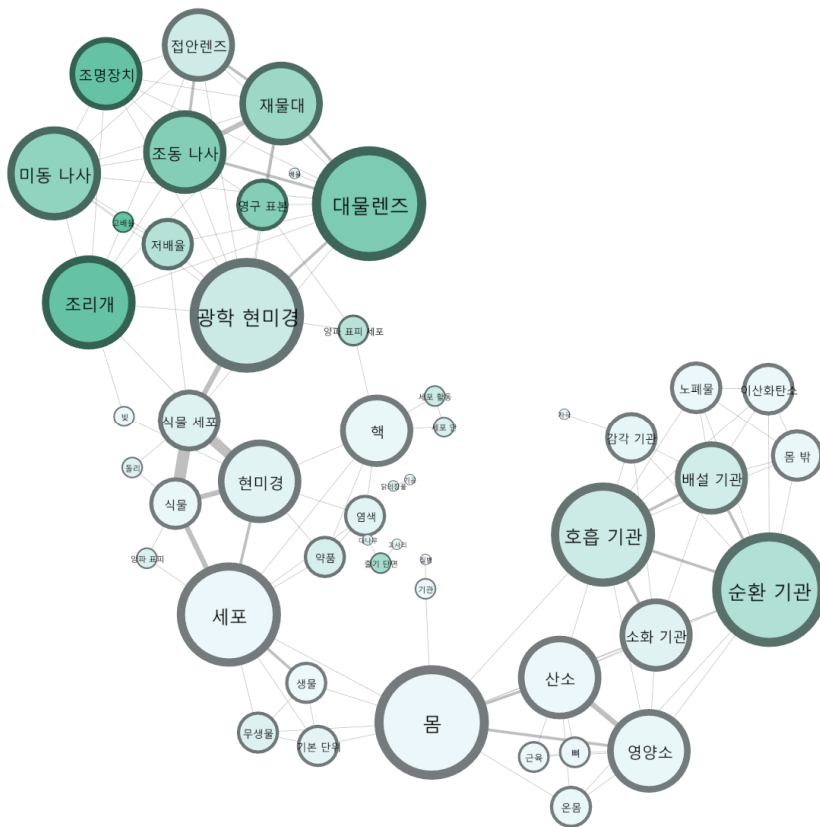
원인 생명 과학의 이해 단원의 생물의 구성 소단원에서는 생물의 유기적 구성과 관련하여 생명체를 구성하는 기본 물질들과 세포의 구조와 기능, 생물의 구성 체제에 대한 내용이 다루어지고 있었다. 이 단원에서는 생물의 유기적 구성 단계에 대한 내용이 다시 반복되고 있었다. 세포의 구조와 관련해 중학교 수준까지는 미토콘드리아와 엽록체 정도의 소기관만을 다루었다면 생명과학 I에서는 골지체, 소포체, 리보솜 등의 소기관도 안내되고 있었다.

고등학교 생명과학 I 교과서에서 생명의 유기적 구성을 나타내는 핵심 개념과 관계는 단백질-생물-세포, 세포-조직-기관, 세포-세포 소기관의 관계였다(표 IV-93).

(5) 고등학교 생명과학Ⅱ 교과서에 포함된 ‘유기적 구성’에 대한 개념 관계망

〈그림 IV-19〉는 고등학교 생명과학Ⅱ에 포함된 ‘생물의 유기적 구성’ 관련 내용에 대한 개념 관계망이다. 고등학교 생명과학Ⅱ의 세포와 물질대사 단원 중 세포의 구조와 기능 소단원에서는 세포 소기관에 대하여 리소좀과 미세 소관 등의 세포 골격을 나타내는 개념이 추가되고 있었다. 원핵 세포와 진핵 세포의 구조적 차이에 대한 내용도 포함되고 있는 것을 볼 수 있다. 또 단백질, 소포체, 골지체, 리보솜, DNA 등의 개념을 중심으로 유전자 발현과 관련된 세포 소기관들의 관계가 강조되고 있었다(표 IV-94).

생명과학Ⅱ 교과서에서 다루어지는 유기적 구성에 대한 내용들은 세포를 이루는 세포 소기관의 구조에 대한 내용뿐만 아니라 각 소기관이 세포의 생명 활동에서 어떤 기능을 하는지를 설명함으로써 세포 소기관의 유기적인 관계를 이해할 수 있도록 내용이 구성되고 있었다. 따라서 이 내용들은 결국 생명의 유기적 구성뿐만 아니라 물질대사, 연속성 주제와도 내용적으로 연계됨을 알 수 있다.



Note. 노드의 크기는 연결중심성에 비례, 음영은 고유도에 비례, 연결선의 굵기는 관계의 가중치(≥ 1)에 비례.

<그림 IV-15> ‘유기적 구성’에 대한 초등학교 과학 교과서의 개념 관계망

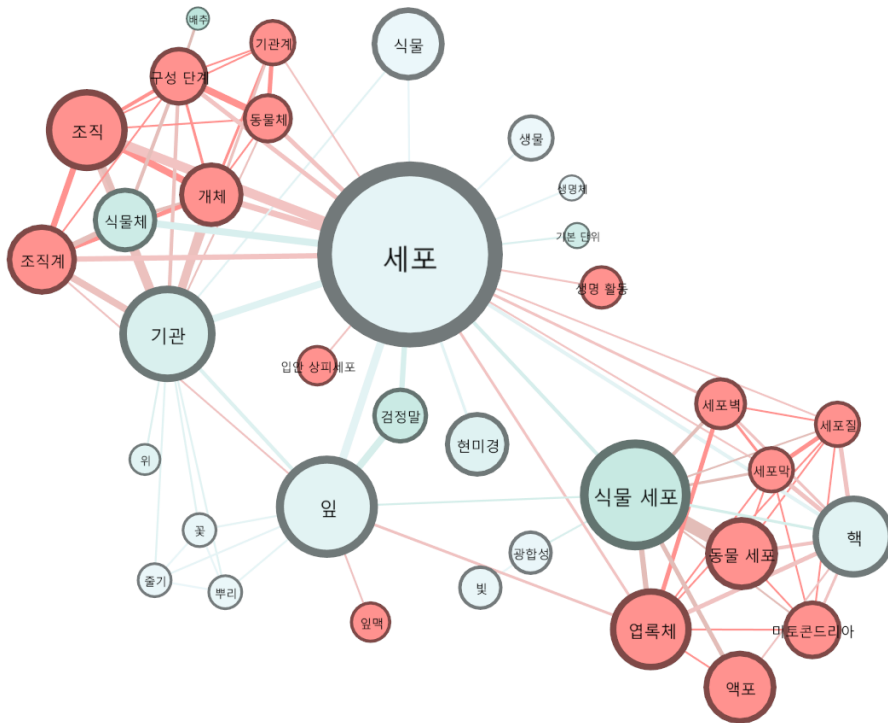
<표 IV-90> ‘유기적 구성’에 대한 초등학교 교과서 개념 관계망의 주요 관계

개념A	개념B	$F(\overline{AB})$	$F(A)$	$F(B)$	$P(\overline{AB})$	$P(\overline{BA})$	$S(A)$	$S(B)$	$S(\overline{AB})$
식물	식물 세포	6	11	12	0.55	0.50	0.46	0.11	0.46
식물 세포	현미경	5	12	9	0.42	0.56	0.11	0.14	0.83
채물대	조동 나사	3	4	3	0.75	1.00	0.71	0.75	1.00
영양소	산소	3	3	3	1.00	1.00	0.06	0.05	0.09
식물	현미경	3	11	9	0.27	0.33	0.46	0.14	0.43
세포	식물	3	9	11	0.33	0.27	0.02	0.46	0.15
광학 현미경	식물 세포	3	6	12	0.50	0.25	0.28	0.11	0.75
채물대	접안렌즈	2	4	2	0.50	1.00	0.71	0.33	1.00
호흡 기관	순환 기관	2	3	3	0.67	0.67	0.62	1.00	1.00
접안렌즈	조동 나사	2	2	3	1.00	0.67	0.33	0.75	1.00
채물대	영구 표본	2	4	3	0.50	0.67	0.71	1.00	1.00
대물렌즈	조동 나사	2	4	3	0.50	0.67	0.80	0.75	1.00
배설 기관	호흡 기관	2	2	3	1.00	0.67	0.50	0.62	1.00
배설 기관	순환 기관	2	2	3	1.00	0.67	0.50	1.00	1.00
소화 기관	호흡 기관	2	2	3	1.00	0.67	0.29	0.62	0.50
몸	산소	2	4	3	0.50	0.67	0.23	0.05	0.14
대물렌즈	채물대	2	4	4	0.50	0.50	0.80	0.71	1.00
광학 현미경	대물렌즈	2	6	4	0.33	0.50	0.28	0.80	0.67
영양소	몸	2	3	4	0.67	0.50	0.06	0.23	0.08
세포	현미경	2	9	9	0.22	0.22	0.02	0.14	0.06
생물	세포	2	2	9	1.00	0.22	0.18	0.02	0.03
핵	세포 활동	1	3	1	0.33	1.00	0.02	0.25	1.00
기본 단위	무생물	1	1	1	1.00	1.00	0.07	0.11	1.00
대물렌즈	배율	1	4	1	0.25	1.00	0.80	0.05	1.00
대물렌즈	조명장치	1	4	1	0.25	1.00	0.80	1.00	1.00
미동 나사	조명장치	1	2	1	0.50	1.00	0.67	1.00	1.00
배설 기관	이산화탄소	1	2	1	0.50	1.00	0.50	0.05	1.00
세포	약품	1	9	1	0.11	1.00	0.02	0.17	1.00
식물	양과 표피	1	11	1	0.09	1.00	0.46	0.12	1.00
약품	염색	1	1	1	1.00	1.00	0.17	0.08	1.00

$F(A)$: 개념 A를 포함하는 관계의 빈도, $F(B)$: 개념 B를 포함하는 관계의 빈도, $F(\overline{AB})$: \overline{AB} 관계의 빈도

$P(\overline{AB})$: A개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도, $P(\overline{BA})$: B개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도

$S(A)$: 개념 A의 고유도, $S(B)$: 개념 B의 고유도, $S(\overline{AB})$: \overline{AB} 관계의 고유도



Note. 노드의 크기는 연결중심성에 비례, 음영은 고유도에 비례, 연결선의 굵기는 관계의
가중치(≥ 3)에 비례, 색상이 다른 노드는 이전 학교급에 비해 새로이 추가된 개념

<그림 IV-16> ‘유기적 구성’에 대한 중학교 과학 교과서의 개념 관계망

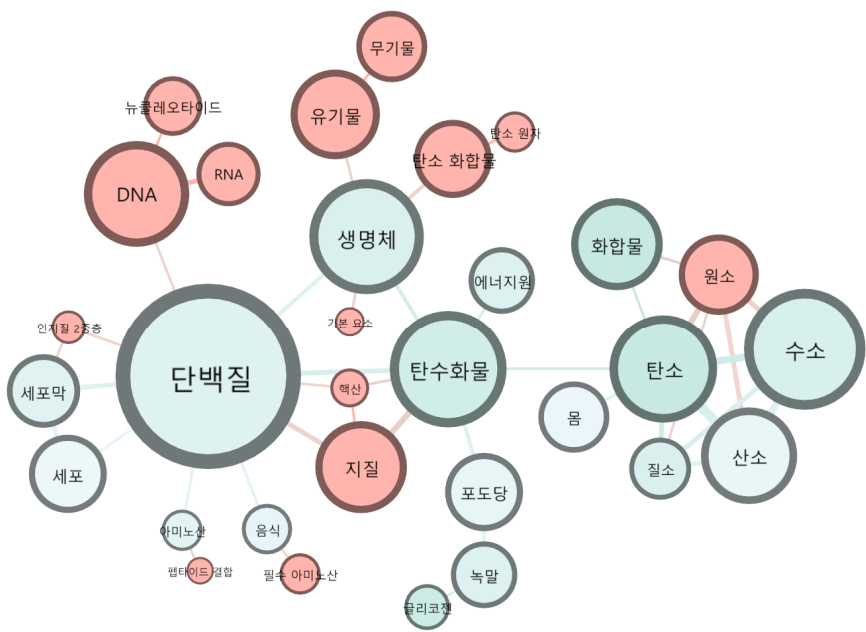
<표 IV-91> ‘유기적 구성’에 대한 중학교 과학 교과서 개념 관계망의 주요 관계

개념A	개념B	$F(\overline{AB})$	$F(A)$	$F(B)$	$P(\overline{AB})$	$P(\overline{BA})$	$S(A)$	$S(B)$	$S(\overline{AB})$
동물 세포	식물 세포	17	21	29	0.81	0.59	0.45	0.32	0.46
기관	조직	12	23	18	0.52	0.67	0.38	0.25	0.27
세포	조직	12	48	18	0.25	0.67	0.25	0.25	0.24
개체	기관	11	15	23	0.73	0.48	0.26	0.38	0.52
세포	잎	10	48	20	0.21	0.50	0.25	0.41	0.59
기관	조직계	9	23	12	0.39	0.75	0.38	0.80	0.82
세포	식물체	9	48	14	0.19	0.64	0.25	0.66	0.43
동물체	구성 단계	9	19	18	0.47	0.50	0.85	0.83	0.64
개체	조직	9	15	18	0.60	0.50	0.26	0.25	0.45
검정말	잎	9	10	20	0.90	0.45	0.78	0.41	0.60
기관	세포	9	23	48	0.39	0.19	0.38	0.25	0.24
조직	조직계	8	18	12	0.44	0.67	0.25	0.80	0.80
기관	식물체	8	23	14	0.35	0.57	0.38	0.66	0.57
개체	세포	8	15	48	0.53	0.17	0.26	0.25	0.28
식물 세포	엽록체	7	29	10	0.24	0.70	0.32	0.35	0.26
세포	조직계	7	48	12	0.15	0.58	0.25	0.80	1.00
식물체	조직계	7	14	12	0.50	0.58	0.66	0.80	0.78
검정말	세포	7	10	48	0.70	0.15	0.78	0.25	1.00
식물 세포	액포	6	29	6	0.21	1.00	0.32	0.37	0.55
세포막	세포질	6	8	9	0.75	0.67	0.09	0.29	0.46
세포벽	엽록체	6	8	10	0.75	0.60	0.33	0.35	0.43
개체	조직계	6	15	12	0.40	0.50	0.26	0.80	0.86
세포막	핵	6	8	13	0.75	0.46	0.09	0.31	0.33
엽록체	핵	6	10	13	0.60	0.46	0.35	0.31	0.33
세포질	핵	6	9	13	0.67	0.46	0.29	0.31	0.21
세포	구성 단계	6	48	18	0.12	0.33	0.25	0.83	0.75
식물체	조직	6	14	18	0.43	0.33	0.66	0.25	0.46
기관계	동물체	6	9	19	0.67	0.32	0.66	0.85	0.60
동물체	세포	6	19	48	0.32	0.12	0.85	0.25	0.40
세포	핵	5	48	13	0.10	0.38	0.25	0.31	0.09

$F(A)$: 개념 A를 포함하는 관계의 빈도, $F(B)$: 개념 B를 포함하는 관계의 빈도, $F(\overline{AB})$: \overline{AB} 관계의 빈도

$P(\overline{AB})$: A개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도, $P(\overline{BA})$: B개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도

$S(A)$: 개념 A의 고유도, $S(B)$: 개념 B의 고유도, $S(\overline{AB})$: \overline{AB} 관계의 고유도



Note. 노드의 크기는 연결중심성에 비례, 음영은 고유도에 비례, 연결선의 굵기는 관계의 가중치(≥ 3)에 비례. 색상이 다른 노드는 이전 학교급에 비해 새로이 추가된 개념

<그림 IV-17> ‘유기적 구성’에 대한 고등학교 과학 교과서의 개념 관계망

<표 IV-92> ‘유기적 구성’에 대한 고등학교 과학 교과서 개념 관계망의 주요 관계

개념A	개념B	$F(\overline{AB})$	$F(A)$	$F(B)$	$P(\overline{AB})$	$P(\overline{BA})$	$S(A)$	$S(B)$	$S(\overline{AB})$
산소	탄소	9	9	13	1.00	0.69	0.22	0.66	0.69
산소	수소	7	9	8	0.78	0.88	0.22	0.47	0.35
수소	탄소	7	8	13	0.88	0.54	0.47	0.66	0.41
탄수화물	지질	6	14	10	0.43	0.60	0.44	0.69	0.40
원소	탄소	6	7	13	0.86	0.46	0.75	0.66	0.86
기름	지방	5	6	5	0.83	1.00	0.47	0.13	1.00
산소	질소	5	9	5	0.56	1.00	0.22	0.68	0.71
수소	질소	5	8	5	0.62	1.00	0.47	0.68	0.50
수소	원소	5	8	7	0.62	0.71	0.47	0.75	1.00
산소	원소	5	9	7	0.56	0.71	0.22	0.75	1.00
DNA	RNA	5	19	7	0.26	0.71	0.20	0.23	0.17
단백질	지질	5	29	10	0.17	0.50	0.24	0.69	0.23
질소	탄소	5	5	13	1.00	0.38	0.68	0.66	0.83
단백질	세포막	5	29	14	0.17	0.36	0.24	0.18	0.21
단백질	탄수화물	5	29	14	0.17	0.36	0.24	0.44	0.14
세포	세포막	5	11	14	0.45	0.36	0.12	0.18	0.10
탄수화물	포도당	4	14	6	0.29	0.67	0.44	0.14	0.33
녹말	포도당	4	6	6	0.67	0.67	0.15	0.14	0.17
생명체	탄소 화합물	4	17	10	0.24	0.40	0.51	0.81	1.00
생명체	탄수화물	4	17	14	0.24	0.29	0.51	0.44	0.80
단백질	생명체	4	29	17	0.14	0.24	0.24	0.51	0.36
단백질	인지질 2중층	3	29	3	0.10	1.00	0.24	0.31	0.43
아미노산	펩타이드 결합	3	5	3	0.60	1.00	0.34	0.38	0.38
당	염기	3	3	3	1.00	1.00	0.13	0.27	0.27
세포막	인지질 2중층	3	14	3	0.21	1.00	0.18	0.31	0.25
유전자	인공 유전자	3	6	4	0.50	0.75	0.18	1.00	1.00
음식	필수 아미노산	3	8	4	0.38	0.75	0.19	1.00	1.00
박테리아	인공 유전자	3	5	4	0.60	0.75	0.89	1.00	1.00
녹말	글리코젠	3	6	4	0.50	0.75	0.15	0.24	0.50
생명체	기본 요소	3	17	5	0.18	0.60	0.51	1.00	0.75

$F(A)$: 개념 A를 포함하는 관계의 빈도, $F(B)$: 개념 B를 포함하는 관계의 빈도, $F(\overline{AB})$: \overline{AB} 관계의 빈도

$P(\overline{AB})$: A개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도, $P(\overline{BA})$: B개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도

$S(A)$: 개념 A의 고유도, $S(B)$: 개념 B의 고유도, $S(\overline{AB})$: \overline{AB} 관계의 고유도

<표 IV-93> ‘유기적 구성’에 대한 고등학교 생명과학 I 교과서 개념 관계망의 주요 관계

개념A	개념B	$F(\overline{AB})$	$F(A)$	$F(B)$	$P(\overline{AB})$	$P(\overline{BA})$	$S(A)$	$S(B)$	$S(\overline{AB})$
기관	조직	7	13	17	0.54	0.41	0.20	0.35	0.16
세포	조직	7	37	17	0.19	0.41	0.25	0.35	0.14
단백질	세포	7	27	37	0.26	0.19	0.19	0.25	0.15
생명 활동	세포	6	7	37	0.86	0.16	0.27	0.25	0.10
골지체	소포체	5	6	6	0.83	0.83	0.21	0.20	0.23
세포	세포 소기관	5	37	8	0.14	0.62	0.25	0.15	0.14
개체	기관	5	6	13	0.83	0.38	0.32	0.20	0.24
단백질	생물	5	27	14	0.19	0.36	0.19	0.22	0.29
개체	조직	5	6	17	0.83	0.29	0.32	0.35	0.25
기관	세포	5	13	37	0.38	0.14	0.20	0.25	0.14
생물	세포	5	14	37	0.36	0.14	0.22	0.25	0.08
기관	기관계	4	13	4	0.31	1.00	0.20	0.31	0.40
뿌리	줄기	4	4	4	1.00	1.00	0.07	0.10	0.06
리보솜	소포체	4	6	6	0.67	0.67	0.12	0.20	0.25
극성	물 분자	4	4	7	1.00	0.57	0.67	0.29	1.00
단백질	아미노산	4	27	7	0.15	0.57	0.19	0.22	0.13
세포	세포막	4	37	8	0.11	0.50	0.25	0.14	0.08
세포	핵	4	37	9	0.11	0.44	0.25	0.10	0.07
중성 지방	지질	4	11	10	0.36	0.40	0.92	0.26	0.80
단백질	지질	4	27	10	0.15	0.40	0.19	0.26	0.18
단백질	물	4	27	16	0.15	0.25	0.19	0.11	0.40
식물체	조직	4	8	17	0.50	0.24	0.18	0.35	0.31
미토콘드리아	세포	4	9	37	0.44	0.11	0.13	0.25	0.24
개체	세포	4	6	37	0.67	0.11	0.32	0.25	0.14
사람	세포	4	8	37	0.50	0.11	0.31	0.25	0.14
단당류	다당류	3	5	3	0.60	1.00	0.83	0.75	1.00
심장	순환계	3	3	3	1.00	1.00	0.15	0.33	0.43
아미노산	펩타이드 결합	3	7	3	0.43	1.00	0.22	0.38	0.38
포도당	화학 에너지	3	7	3	0.43	1.00	0.28	0.25	0.30
단백질	형질	3	27	3	0.11	1.00	0.19	0.28	0.27

$F(A)$: 개념 A를 포함하는 관계의 빈도, $F(B)$: 개념 B를 포함하는 관계의 빈도, $F(\overline{AB})$: \overline{AB} 관계의 빈도

$P(\overline{AB})$: A개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도, $P(\overline{BA})$: B개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도

$S(A)$: 개념 A의 고유도, $S(B)$: 개념 B의 고유도, $S(\overline{AB})$: \overline{AB} 관계의 고유도

<표 IV-94> ‘유기적 구성’에 대한 고등학교 생명과학Ⅱ 교과서 개념 관계망의 주요 관계

개념A	개념B	$F(\overline{AB})$	$F(A)$	$F(B)$	$P(\overline{AB})$	$P(\overline{BA})$	$S(A)$	$S(B)$	$S(\overline{AB})$
세포	세포 소기관	24	142	50	0.17	0.48	0.37	0.74	0.65
단백질	세포	16	40	142	0.40	0.11	0.49	0.37	0.34
골지체	소포체	15	20	22	0.75	0.68	0.79	0.80	0.68
세포	현미경	15	142	36	0.11	0.42	0.37	0.35	0.44
생명 활동	세포	13	15	142	0.87	0.09	0.32	0.37	0.22
단백질	골지체	12	40	20	0.30	0.60	0.49	0.79	0.86
세포	세포막	12	142	28	0.08	0.43	0.37	0.59	0.24
단백질	리보솜	12	40	29	0.30	0.41	0.49	0.86	0.75
세포	핵	12	142	36	0.08	0.33	0.37	0.40	0.21
접안 마이크로미터	눈금	11	14	14	0.79	0.79	1.00	0.93	1.00
단백질	소포체	11	40	22	0.28	0.50	0.49	0.80	0.92
리보솜	소포체	11	29	22	0.38	0.50	0.86	0.80	0.69
세포벽	식물 세포	10	16	18	0.62	0.56	0.53	0.36	0.45
세포막	세포벽	9	28	16	0.32	0.56	0.59	0.53	0.47
핵	리보솜	9	36	29	0.25	0.31	0.40	0.86	0.64
배율	현미경	9	16	36	0.56	0.25	0.89	0.35	0.82
핵	세포 소기관	9	36	50	0.25	0.18	0.40	0.74	0.50
섬모	편모	8	9	8	0.89	1.00	0.85	0.91	0.89
배율	해상력	8	16	10	0.50	0.80	0.89	1.00	1.00
세포	세포질	8	142	11	0.06	0.73	0.37	0.85	0.80
단백질	DNA	8	40	12	0.20	0.67	0.49	0.70	0.15
세포	리소솜	8	142	13	0.06	0.62	0.37	0.81	0.89
대물 마이크로미터	눈금	8	9	14	0.89	0.57	1.00	0.93	1.00
원핵 세포	진핵 세포	8	15	14	0.53	0.57	0.45	0.51	0.38
세포막	리보솜	8	28	29	0.29	0.28	0.59	0.86	0.67
생명체	세포	8	11	142	0.73	0.06	0.28	0.37	0.38
단백질	유전 정보	7	40	7	0.17	1.00	0.49	0.38	0.29
리보솜	골지체	7	29	20	0.24	0.35	0.86	0.79	0.64
골지체	운반 소낭	7	20	8	0.35	0.88	0.79	1.00	1.00
DNA	리보솜	7	12	29	0.58	0.24	0.70	0.86	0.64

$F(A)$: 개념 A를 포함하는 관계의 빈도, $F(B)$: 개념 B를 포함하는 관계의 빈도, $F(\overline{AB})$: \overline{AB} 관계의 빈도

$P(\overline{AB})$: A개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도, $P(\overline{BA})$: B개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도

$S(A)$: 개념 A의 고유도, $S(B)$: 개념 B의 고유도, $S(\overline{AB})$: \overline{AB} 관계의 고유도

(6) ‘유기적 구성’ 주제에 대한 학교급별 수직적 연계성

이 상의 유기적 구성 핵심 주제에 대한 학교급별 교과서의 개념 관계망 분석을 통해 알아본 수직적 연계성의 분석 결과는 <표 IV-95>와 같이 요약될 수 있다. 교육과정 전체에서 유기적 구성에 주제에 대한 설명에서 사용된 개념들이 각 학교급에 따라 그 개념 수 포함률이 선형의 증가를 보이고 있어(표 IV-89) 학습 내용의 양적인 측면에서는 전체적으로 관련 내용의 심화 및 분화가 계열성의 원리에 맞게 구성되고 있음을 짐작 할 수 있다. 개념들 사이의 연결 가중치의 평균은 중학교에서 가장 높게 나타나고 있었는데(표 IV-89) 이는 초등학교에서는 다루지 않아 처음으로 학습하게 되는 세포 소기관과 유기적 구성 단계에 대한 내용을 나타내는 관계의 가중치($F(\overline{AB})$)가 높아 반복적으로 강조되고 있었기 때문이었다(표 IV-91).

세포 소기관에 대한 내용은 중학교, 생명과학 I, 생명과학 II에 걸쳐 이전에 학습한 내용에 새로운 내용을 추가하는 발전적 형태로 계열성을 가지고 반복적으로 다루어지고 있었다(표 IV-95). 특히 생명과학 II에서 세포 소기관의 구조와 기능에 대하여 심화 발전되는 내용은 같은 학교급의 물질 대사와 연속성 주제의 내용과 수평적 연계성을 나타내는 것을 수평적 연계성 분석을 통해 알 수 있었다(그림 IV-14).

<표 IV-95> ‘유기적 구성’에 대한 학교급 교과서별 수직적 연계성

학교급	주요 내용 및 연계성
초등학교 과학	식물 - 세포 - 현미경
중학교 과학	[발전] 식물세포 / 동물세포 [격차] 세포 소기관 : 핵, 엽록체, 미토콘드리아, 액포 [격차] 유기적 구성 단계 : 세포-조직(계) - 기관(계) - 개체
고등학교 과학	[격차] DNA, 유기물, 무기물, 단백질 -> 생명체의 구성 물질
고등학교 생명과학 I	[반복] 생명체의 구성 물질 : 단백질, 탄수화물, 지방 [반복] 유기적 구성 단계 [발전] 세포 소기관의 종류와 기능 : 골지체, 소포체
고등학교 생명과학 II	[발전] 세포 소기관의 종류: 세포골격, 리소좀, 운반소낭 [발전] 세포 소기관의 기능 심화 (리보솜, 골지체, 소포체 -> 단백질 합성)

2) ‘물질대사’ 주제에 대한 학교급별 개념 관계망 및 연계성

생명 과학의 핵심 주제인 물질대사에 대해 각 학교급별 교과서에서 어떻게 다루어지고 있는지 알아보았다. 교과서의 내용 중 식물의 구조와 기능이나 동물의 구조와 기능에 대한 내용이 에너지를 저장하고 사용하는 동화와 이화 작용의 과정을 설명하기 위해 다루어진 내용들은 이 영역에 함께 포함하여 분석하였다.

학교급별 관계망의 네트워크 특성을 분석한 결과 물질대사 관련 내용은 교과서에 제시된 학습량이 초등학교에서 중학교로 올라갈 때 큰 폭으로 증가하였다가 고등학교 과학과 생명과학 I에서는 오히려 줄어들고 생명과학 II에서 급격한 내용의 심화가 일어나고 있음을 알 수 있었다. 개념 간 관계가 반복적으로 강조되는 정도(평균 연결 가중치)는 중학교 과학 교과서에서 2.14로 가장 높았다(표 IV-96). 각 관계망의 시각화 결과는 <그림 IV-20>부터 <그림 IV-24>까지, 각 관계망의 주요 관계를 분석한 결과는 <표 IV-97>부터 <표 IV-101>까지 제시하였다. 관계망의 시각화 결과와 주요 관계 분석 결과를 교과서의 내용과 연결 지어 분석하고 이를 통해 학교급별 교과서에서 물질대사 핵심 주제에 대해 다루어지고 있는 내용을 알아본 결과는 다음과 같다.

<표 IV-96> ‘물질대사’에 대한 학교급별 개념 관계망의 구조적 특성

학교급	개념 수(%)	연결 수	평균 연결정도	평균 연결 가중치	지름	밀도
초등학교 과학	202 (15)	883	8.7	2.03	7	0.043
중학교 과학	495 (36)	3,367	13.6	2.14	6	0.028
고등학교 과학	247 (18)	1,320	10.7	1.36	6	0.043
고등학교 생명과학 I	276 (20)	1,612	11.7	1.74	7	0.042
고등학교 생명과학 II	825 (59)	5,358	13.0	1.71	6	0.016
영역 전체	1,403 (100)	10,987	15.7	2.07	7	0.011

(1) 초등학교 과학 교과서에 포함된 '물질대사'에 대한 개념 관계망

〈그림 IV-20〉은 초등학교 교과서에 포함된 '생물의 물질대사' 관련 내용에 대한 개념 관계망이다. 초등학교 5-6학년군의 식물의 구조와 기능 단위에서는 식물의 광합성을 통해 양분을 얻는 탄소 동화 작용에 대한 내용이 소개되고 있었다. 이때 양분 합성에 필요한 물과 물질의 이동 과정과 관련하여 식물을 구성하는 각 기관의 구조와 기능이 함께 다루어진다. 또 우리 몸의 구조와 기능 단위에서는 몸에 필요한 영양소를 얻기 위하여 음식을 소화하고, 혈액이 운반하여 주는 영양소와 산소를 이용하여 몸에 필요한 에너지를 만들고, 그 과정에서 발생한 이산화탄소와 노폐물은 각각 폐와 콩팥을 통해 방출되는 과정을 중심으로 이화 작용이 설명되고 있었다.

초등학교에서는 물질대사를 설명할 때 에너지 개념 보다는 양분, 영양소 개념이 주로 사용되었고, 생물의 기관, 특히 식물의 기관과 기능에 대한 내용이 강조되고 있었다. 식물과 관련하여서는 광합성 개념과 함께 증산 작용 개념이 소개되고 있고, 동물의 호흡에 대해서는 외호흡만 설명되고 있었다. 개념을 나타내는 용어의 사용에 있어서 초등학교에서는 소화관 중 소장과 대장에 대하여 각각 작은 창자와 큰 창자라는 표현을 사용하고 있었다(표 IV-97).

(2) 중학교 과학 교과서에 포함된 '물질대사'에 대한 개념 관계망

〈그림 IV-21〉은 중학교 교과서에 포함된 '생물의 물질대사' 관련 내용에 대한 개념 관계망이다. 중학교 교과서에서는 초등학교 교과서 비하여 물질대사에 대한 내용에 포함된 개념의 수가 2배 이상 증가한 것으로 나타났는데(표 IV-96), 이는 물질 대사와 관련된 중학교 과학1의 광합성 단위과 과학2의 소화·순환·호흡·배설 단위의 내용이 이전 학교급에 비해 새로운 개념을 많이 포함하고 있음을 의미한다.

중학교에서는 초등학교와 마찬가지로 탄소의 동화 과정인 광합성에 필요한 물질의 획득과 운반에 대하여서는 식물의 구조 및 기능과 연결 지어,

이화 과정은 동물의 소화·순환·호흡·배설계의 기능과 연결 지어 설명되고 있었다.

초등학교와 비교하여서는 광합성이 일어나는 장소가 식물의 잎에서 잎세포의 소기관인 엽록체로 명시되고 있었다. 또 광합성의 산물인 양분이 포도당과 녹말로 구체화되었고, 영양소에 대해서는 3대 영양소인 탄수화물, 단백질, 지방과 무기염류로 구체화되었다. 또 초등학교에서는 생명활동에서 발생하는 노폐물이 무엇인지에 대한 구체적인 언급이 없었으나, 중학교 교과서에서는 에너지원으로 사용된 영양소의 종류에 따라 탄수화물과 지방의 분해에서는 물과 이산화탄소가 발생하고, 단백질의 분해 시에는 질소 노폐물인 암모니아가 발생함이 구체적으로 설명되고 있었고, 암모니아는 요소로 전환되어 배설됨이 설명되고 있었다.

호흡과 관련하여 초등학교에서는 동물의 외호흡만을 다루었으나 중학교에서는 세포 개념을 중심으로 세포 호흡을 다루고 있으며 그 과정에 산소가 쓰이고 이산화탄소가 발생함을 설명하고 있다. 또 식물도 광합성뿐만 아니라 호흡을 한다는 것과 광합성과 호흡의 과정에서 산소와 이산화탄소의 사용과 발생이 반대로 일어남이 설명되고 있었다.

중학교 과정에서는 물질대사와 관련하여 산소와 이산화탄소의 운반과 이용, 배출 등이 중심이 되고 따라서 가장 큰 빈도를 나타낸 관계도 산소-이산화탄소-호흡의 관계로 나타났고, 음식-영양소-세포, 식물-잎-광합성-엽록체로 나타났다(그림 IV-21, 표 IV-97).

(3) 고등학교 과학 교과서에 포함된 ‘물질대사’에 대한 개념 관계망

〈그림 IV-22〉는 고등학교 과학 교과서에 포함된 ‘생물의 물질대사’ 관련 내용에 대한 개념 관계망이다. 고등학교 과학에서는 교육과정 상에서 생명 영역의 단원으로 제시되지는 않았으나 생명 영역과 관계가 깊은 인류의 건강과 과학 기술 단원과 에너지와 환경 단원에서 물질대사에 대한 내용이 다루어지고 있었다.

고등학교에 과학 교과서에 포함된 물질대사 관련 내용은 영양소와 세포 호흡에 대한 내용과 식물의 광합성에 대한 내용으로 중학교 수준에서 다루어지고 있는 내용과 비교할 때 크게 추가되거나 심화되는 내용은 없었다. 다만 초등학교와 중학교에서는 물질대사와 관련하여 식물의 구조와 기능, 인체의 구조와 기능이 함께 다루어 졌다면(표 IV-97, 표 IV-98) 고등학교 과학에서는 식물과 동물의 구조와 기능에 대한 내용은 생략되고 세포 내에서 일어나는 탄소 동화와 이화 작용에 대해서만 집중적으로 설명하고 있다는 특징이 있다(표 IV-99).

또 광합성에 필요한 빛에 대해 강조하면서 엽록소와 같은 광합성 색소에 대한 개념들이 추가되고 있었다(그림 IV-22). 이를 통해 광합성은 빛으로부터 얻은 에너지를 ATP에 화학 에너지로 저장하는 것이고, 호흡은 다시 영양소에 저장된 화학에너지 에너지를 사용하는 에너지 전환의 과정임이 설명되고 있었다. 고등학교 과학에서는 ‘동화 작용’ 개념이 자세한 설명 없이 처음으로 사용되고 있었다.

분석을 통해 고등학교 과학 교과서에서 물질대사와 관련하여 강조된 주요 관계는 빛-식물-광합성, 광합성-포도당-이산화탄소-산소-물의 관계임을 알 수 있었다(표 IV-99).

(4) 고등학교 생명과학 I 교과서에 포함된 ‘물질대사’에 대한 개념 관계망

〈그림 IV-23〉은 생명과학 I 교과서에 포함된 ‘생물의 물질대사’ 관련 내용에 대한 개념 관계망이다. 고등학교 생명과학 I 교과서에서는 항상성과 건강 단위 중 생명 활동과 에너지 중단원에서 물질대사와 관련된 내용을 다루고 있었다. 생명과학 I에서는 물질대사 중에서 포도당의 이화 과정인 세포 호흡을 중심으로 설명하고, 이를 광합성과 연결 지음으로써 세포에서 일어나는 에너지의 전환의 과정을 설명하고 있었다.

특히, 물질대사와 관련하여 ‘이화 작용’과 ‘동화 작용’이라는 개념은 생명과학 I에서 처음으로 자세히 설명되었는데 아미노산으로부터 큰 분자의 단

백질이 만들어지는 과정을 동화 작용의 예로 들고 있었다. 고등학교 과학까지는 세포 호흡과 관련하여 구체적인 세포 소기관을 언급하지 않았으나 생명과학 I 교과서에서는 세포 호흡이 일어나는 장소가 미토콘드리아로 구체적으로 제시되고 있었다. 또 생명과학 I 교과서에서는 중학교에서 다루었던 소화·순환·호흡·배설계에 대한 내용을 세포 호흡과 연결하고 있었다.

세포에 양분과 산소가 공급되는 과정과 세포 호흡의 결과 발생하는 노폐물의 배설 과정을 통해 소화·순환·호흡·배설에 대해 통합적으로 설명하고, 이 모든 과정이 궁극적으로 에너지를 얻고 이용하기 위한 것임을 이해할 수 있도록 내용이 구성되고 있었다.

분석 결과를 통해 고등학교 생명과학 I 교과서의 물질 대사 영역에서는 세포-양분-에너지-세포호흡, 세포호흡-포도당-에너지-이산화탄소, 세포-노폐물의 관계를 가장 중요한 관계로 볼 수 있으며, 그 중심에 에너지 개념이 있는 것을 알 수 있다(표 IV-100).

(5) 고등학교 생명과학Ⅱ 교과서에 포함된 ‘물질대사’에 대한 개념 관계망

〈그림 IV-24〉는 생명과학Ⅱ 교과서에 포함된 ‘생물의 물질대사’ 관련 내용에 대한 개념 관계망이다. 고등학교 생명과학Ⅱ 교과서에서는 세포와 물질대사 단원에서 물질대사에 대한 내용이 다루어지고 있었는데, 학교급별 교과서 중 물질대사와 관련한 개념을 가장 많이 포함하고 있는 것으로 나타났다(표 IV-96).

생명과학Ⅱ에서는 인체나 식물의 기관과 관련된 내용은 다루어지지 않고 세포와 세포내 소기관에서 일어나는 물질 대사를 분자 수준에서 다루고 있었다. 엽록체의 구조와 함께 광합성의 명반응과 암반응, 미토콘드리아의 구조와 함께 전자 전달계, TCA 회로, 해당작용, 발효 등 생체 내의 물질대사와 관련한 주요 화학반응들이 학습 내용으로 제시되고 있었다. 또 생물체에서 이러한 물질대사가 일어나기 위해 필요한 효소의 기능과 특성, 그리고 세포막의 구조와 특성이 함께 다루어지고 있었다(그림 IV-24).

이전 학교급의 교과서에서는 광합성과 세포호흡에 대해 반응이 일어나는 장소, 그 반응물과 최종 생성물만을 다루었다(표 IV-97 ~ 표 IV-100). 이와는 달리 생명과학Ⅱ 교과서에서는 물질대사와 관련한 세포 소기관의 세부적인 구조, 화학반응에 관여된 다양한 효소와 중간 산물을 나타내는 많은 개념을 포함하고 있었다(표 IV-101). 이를 통해 물질대사와 관련한 학습내용이 생명과학Ⅱ에서 양적으로도 질적으로도 급격한 변화를 보이고 있음을 알 수 있다.

생명과학Ⅱ 교과서의 물질대사관련 내용에서는 효소, 에너지와 함께 ATP 개념이 높은 중심성을 보이고 있는데 이는 ATP가 세포 내에서 생명 활동에 필요한 에너지를 저장하는 가장 주된 물질이기 때문이다.

네트워크 분석 결과를 통해 생명과학Ⅱ 교과서의 물질대사 영역의 핵심 관계는 효소-기질, 세포 호흡-에너지-ATP, 포도당-ATP-해당작용, 에너지-전자-전자 전달계, 세포-세포막, 효소-단백질 등의 관계임을 알 수 있었다(표 IV-101).

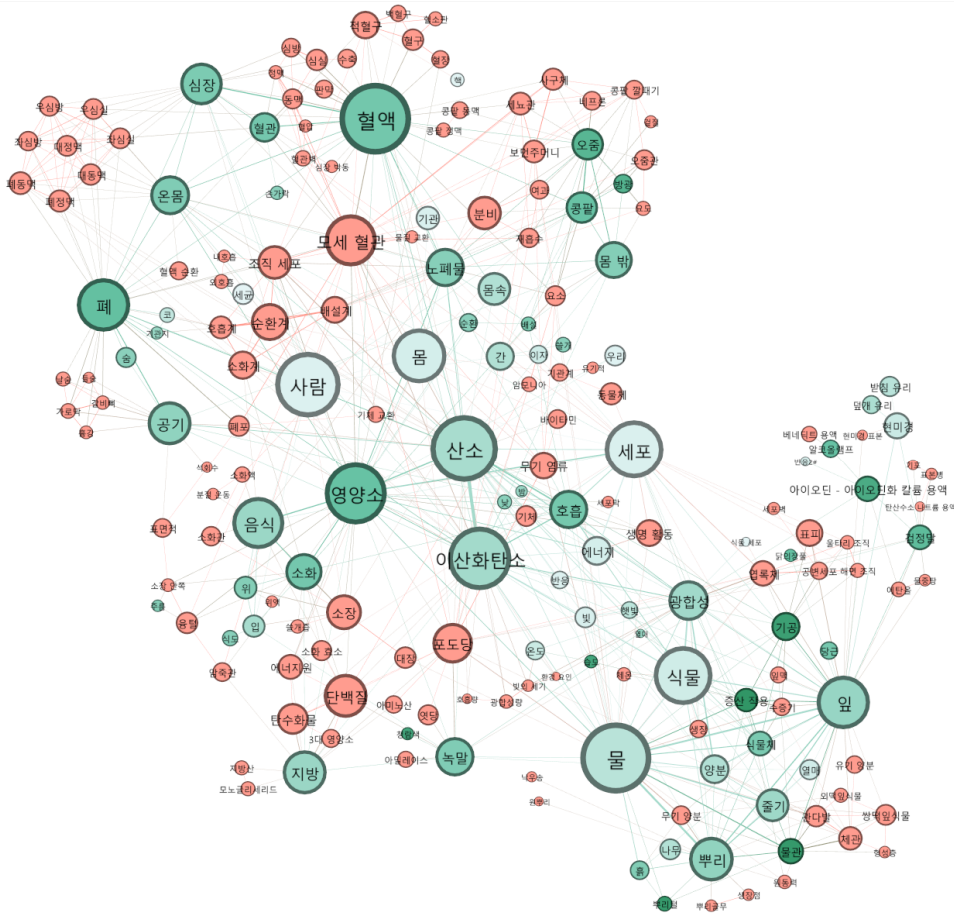
<표 IV-97> ‘물질대사’에 대한 초등학교 과학 교과서 개념 관계망의 주요 관계

개념A	개념B	$F(\overline{AB})$	$F(A)$	$F(B)$	$P(\overline{AB})$	$P(\overline{BA})$	$S(A)$	$S(B)$	$S(\overline{AB})$
잎	줄기	24	59	42	0.41	0.57	0.42	0.47	0.34
뿌리	식물	24	63	111	0.38	0.22	0.42	0.46	0.44
뿌리	줄기	21	63	42	0.33	0.50	0.42	0.47	0.32
물	뿌리	20	54	63	0.37	0.32	0.25	0.42	0.28
꽃	열매	19	29	24	0.66	0.79	0.73	0.73	0.44
식물	잎	18	111	59	0.16	0.31	0.46	0.42	0.24
물	식물	18	54	111	0.33	0.16	0.25	0.46	0.27
식물	줄기	16	111	42	0.14	0.38	0.46	0.47	0.40
물	줄기	14	54	42	0.26	0.33	0.25	0.47	0.33
근육	뼈	13	13	24	1.00	0.54	0.21	0.53	0.68
양분	잎	13	25	59	0.52	0.22	0.30	0.42	0.54
생장	식물	13	23	111	0.57	0.12	0.33	0.46	0.36
꽃	식물	12	29	111	0.41	0.11	0.73	0.46	0.50
물	양분	10	54	25	0.19	0.40	0.25	0.30	0.28
노폐물	혈액	9	18	21	0.50	0.43	0.22	0.10	0.41
식물	열매	9	111	24	0.08	0.38	0.46	0.73	0.53
식물	양분	9	111	25	0.08	0.36	0.46	0.30	0.20
옥수수	강낭콩	8	16	19	0.50	0.42	0.61	1.00	0.73
온몸	혈액	8	8	21	1.00	0.38	0.16	0.10	0.27
기관	식물	8	22	111	0.36	0.07	0.18	0.46	0.62
빛	식물	8	16	111	0.50	0.07	0.18	0.46	0.17
노폐물	콩팥	7	18	9	0.39	0.78	0.22	0.13	0.41
광합성	양분	6	7	25	0.86	0.24	0.05	0.30	0.14
몸	숨	7	37	15	0.19	0.47	0.23	0.45	1.00
기관지	폐	6	7	7	0.86	0.86	0.37	0.11	0.43
혈관	혈액	6	8	21	0.75	0.29	0.12	0.10	0.22
몸	뼈	6	37	24	0.16	0.25	0.23	0.53	0.60
작은창자	큰창자	5	6	6	0.83	0.83	1.00	1.00	1.00
몸	산소	5	37	8	0.14	0.62	0.23	0.05	0.36
기공	증산 작용	3	5	9	0.60	0.33	0.16	0.24	0.27

$F(A)$: 개념 A를 포함하는 관계의 빈도, $F(B)$: 개념 B를 포함하는 관계의 빈도, $F(\overline{AB})$: \overline{AB} 관계의 빈도

$P(\overline{AB})$: A개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도, $P(\overline{BA})$: B개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도

$S(A)$: 개념 A의 고유도, $S(B)$: 개념 B의 고유도, $S(\overline{AB})$: \overline{AB} 관계의 고유도



Note. 노드의 크기는 연결중심성에 비례, 음영은 고유도에 비례, 연결선의 굵기는 관계의 가중치(≥ 3)에 비례, 색상이 다른 노드는 이전 학교급에 비해 새로이 추가된 개념

<그림 IV-21> ‘물질대사’에 대한 중학교 교과서의 개념 관계망

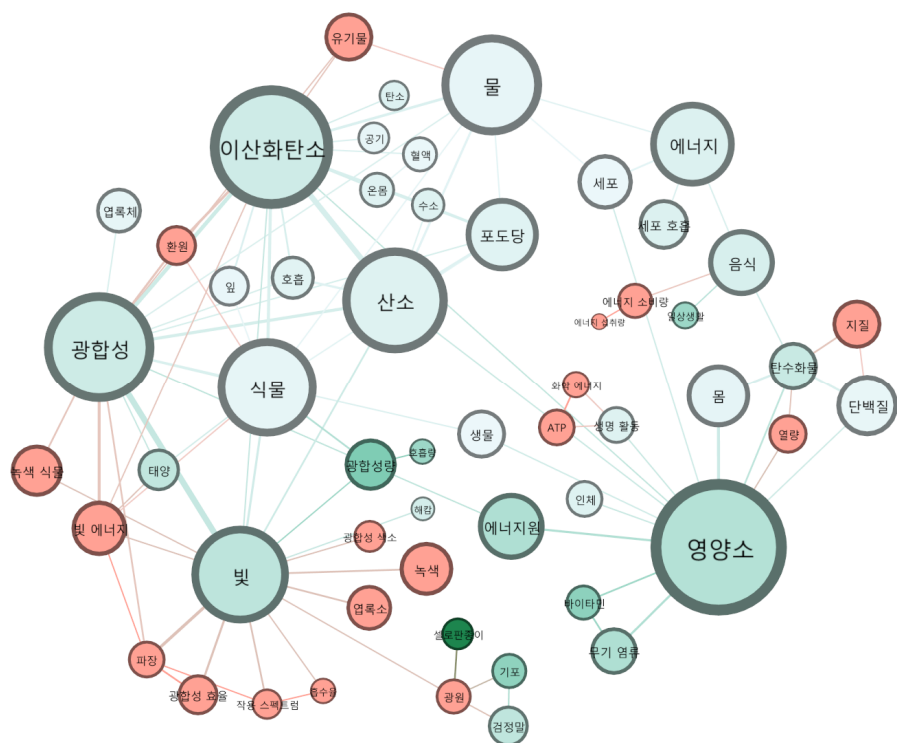
<표 IV-98> ‘물질대사’에 대한 중학교 과학 교과서 개념 관계망의 주요 관계

개념A	개념B	$F(\overline{AB})$	$F(A)$	$F(B)$	$P(\overrightarrow{AB})$	$P(\overrightarrow{BA})$	$S(A)$	$S(B)$	$S(\overline{AB})$
산소	이산화탄소	47	74	66	0.64	0.71	0.28	0.29	0.44
물	뿌리	30	104	59	0.29	0.51	0.25	0.43	0.42
물	잎	26	104	80	0.25	0.33	0.25	0.41	0.46
광합성	식물	24	79	68	0.30	0.35	0.33	0.17	0.37
산소	호흡	22	74	49	0.30	0.45	0.28	0.54	0.59
물	줄기	20	104	39	0.19	0.51	0.25	0.36	0.47
광합성	양분	19	79	38	0.24	0.50	0.33	0.27	0.44
영양소	세포	19	77	61	0.25	0.31	0.55	0.25	0.68
뿌리	잎	18	59	80	0.31	0.23	0.43	0.41	0.26
영양소	음식	17	77	54	0.22	0.31	0.55	0.44	0.63
심장	혈액	17	33	99	0.52	0.17	0.46	0.49	0.65
물	물관	16	104	28	0.15	0.57	0.25	0.74	0.67
세포	에너지	16	61	29	0.26	0.55	0.25	0.12	0.21
호흡계	순환계	16	26	32	0.62	0.50	0.64	0.65	0.55
오줌	콩팥	16	37	34	0.43	0.47	0.68	0.55	0.59
이산화탄소	호흡	16	66	49	0.24	0.33	0.29	0.54	0.64
물관	체관	14	28	18	0.50	0.78	0.74	0.75	0.82
배설계	호흡계	14	22	26	0.64	0.54	0.65	0.64	0.58
광합성	엽록체	14	79	33	0.18	0.42	0.33	0.35	0.37
뿌리	줄기	14	59	39	0.24	0.36	0.43	0.36	0.22
공기	폐	14	40	46	0.35	0.30	0.40	0.57	0.74
에너지	호흡	14	29	49	0.48	0.29	0.12	0.54	0.70
광합성	이산화탄소	14	79	66	0.18	0.21	0.33	0.29	0.31
소화계	순환계	13	21	32	0.62	0.41	0.62	0.65	0.54
영양소	소화	13	77	38	0.17	0.34	0.55	0.48	0.72
보면주머니	사구체	12	15	13	0.80	0.92	1.00	1.00	1.00
심방	심실	10	12	13	0.83	0.77	1.00	0.93	1.00
모세 혈관	세뇨관	9	47	14	0.19	0.64	0.72	0.93	1.00
동맥	정맥	9	21	15	0.43	0.60	0.88	0.94	0.82
혈구	혈소판	7	23	10	0.30	0.70	0.85	0.91	0.88

$F(A)$: 개념 A를 포함하는 관계의 빈도, $F(B)$: 개념 B를 포함하는 관계의 빈도, $F(\overline{AB})$: \overline{AB} 관계의 빈도

$P(\overline{AB})$: A개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도, $P(\overrightarrow{BA})$: B개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도

$S(A)$: 개념 A의 고유도, $S(B)$: 개념 B의 고유도, $S(\overline{AB})$: \overline{AB} 관계의 고유도



Note. 노드의 크기는 연결중심성에 비례, 음영은 고유도에 비례, 연결선의 굵기는 관계의 가중치(≥ 3)에 비례. 색상이 다른 노드는 이전 학교급에 비해 새로이 추가된 개념

<그림 IV-22> '물질대사'에 대한 고등학교 과학 교과서의 개념 관계망

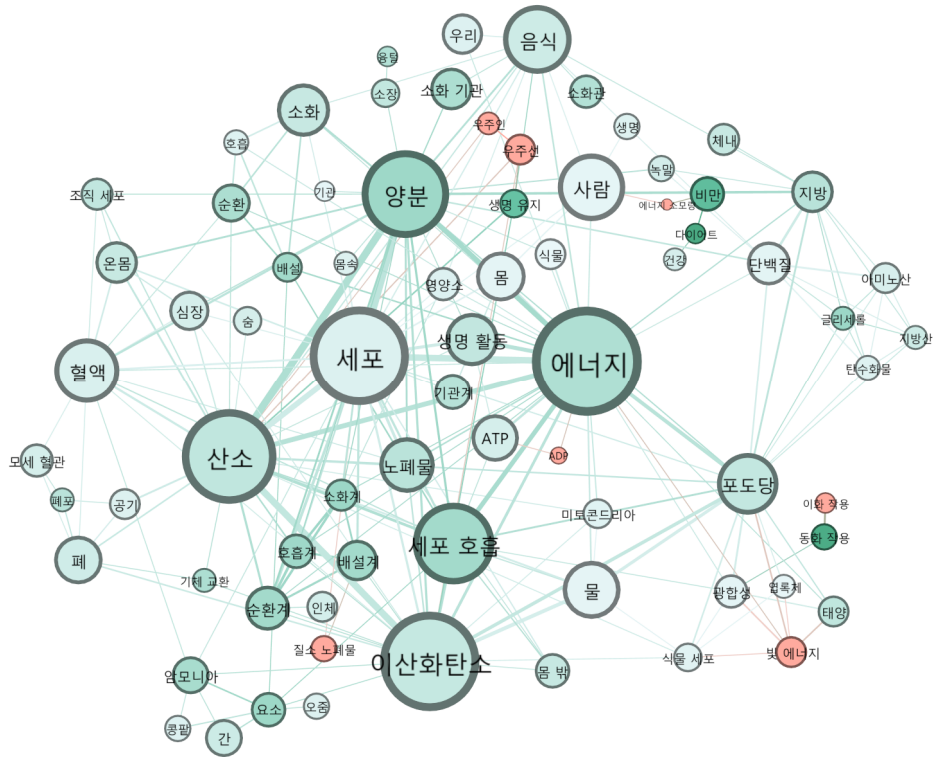
<표 IV-99> ‘물질대사’에 대한 고등학교 과학 교과서 개념 관계망의 주요 관계

개념A	개념B	$F(\overline{AB})$	$F(A)$	$F(B)$	$P(\overline{AB})$	$P(\overline{BA})$	$S(A)$	$S(B)$	$S(\overline{AB})$
광합성	빛	14	34	29	0.41	0.48	0.18	0.14	0.36
산소	이산화탄소	13	17	28	0.76	0.46	0.22	0.25	0.12
광합성	이산화탄소	9	34	28	0.26	0.32	0.18	0.25	0.20
빛	과장	7	29	9	0.24	0.78	0.14	0.43	0.44
광합성	빛 에너지	7	34	11	0.21	0.64	0.18	0.25	0.21
영양소	몸	7	33	13	0.21	0.54	0.28	0.11	0.28
광합성	산소	7	34	17	0.21	0.41	0.18	0.22	0.18
식물	이산화탄소	7	18	28	0.39	0.25	0.09	0.25	0.22
이산화탄소	환원	6	28	6	0.21	1.00	0.25	0.26	0.43
산소	포도당	6	17	8	0.35	0.75	0.22	0.14	0.27
이산화탄소	포도당	6	28	8	0.21	0.75	0.25	0.14	0.14
물	이산화탄소	6	12	28	0.50	0.21	0.19	0.25	0.09
산소	호흡	5	17	5	0.29	1.00	0.22	0.08	0.14
광합성	환원	5	34	6	0.15	0.83	0.18	0.26	0.71
영양소	무기 염류	5	33	6	0.15	0.83	0.28	0.27	0.56
빛	광합성 효율	5	29	8	0.17	0.62	0.14	1.00	1.00
몸	탄수화물	5	13	10	0.38	0.50	0.11	0.44	0.50
영양소	에너지원	5	33	10	0.15	0.50	0.28	0.38	0.45
단백질	탄수화물	5	7	10	0.71	0.50	0.24	0.44	0.14
물	산소	5	12	17	0.42	0.29	0.19	0.22	0.10
빛	식물	5	29	18	0.17	0.28	0.14	0.09	0.10
광합성	식물	5	34	18	0.15	0.28	0.18	0.09	0.08
빛	작용 스펙트럼	4	29	4	0.14	1.00	0.14	0.40	0.57
이산화탄소	잎	4	28	4	0.14	1.00	0.25	0.03	0.36
영양소	바이타민	4	33	5	0.12	0.80	0.28	0.43	0.50
무기 염류	바이타민	4	6	5	0.67	0.80	0.27	0.43	0.50
빛	엽록소	4	29	5	0.14	0.80	0.14	0.16	0.36
화학 에너지	ATP	4	5	6	0.80	0.67	0.19	0.06	0.24
탄수화물	지질	4	10	7	0.40	0.57	0.44	0.69	0.27
광합성 효율	과장	4	8	9	0.50	0.44	1.00	0.43	1.00

$F(A)$: 개념 A를 포함하는 관계의 빈도, $F(B)$: 개념 B를 포함하는 관계의 빈도, $F(\overline{AB})$: \overline{AB} 관계의 빈도

$P(\overline{AB})$: A개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도, $P(\overline{BA})$: B개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도

$S(A)$: 개념 A의 고유도, $S(B)$: 개념 B의 고유도, $S(\overline{AB})$: \overline{AB} 관계의 고유도



Note. 노드의 크기는 연결중심성에 비례, 음영은 고유도에 비례, 연결선의 굵기는 관계의
가중치(≥ 3)에 비례, 색상이 다른 노드는 이전 학교급에 비해 새로이 추가된 개념

<그림 IV-23> '물질대사'에 대한 고등학교 생명과학 I 교과서의 개념 관계망

<표 IV-100> ‘물질대사’에 대한 고등학교 생명과학 I 교과서 개념 관계망의 주요 관계

개념A	개념B	$F(\overline{AB})$	$F(A)$	$F(B)$	$P(\overline{AB})$	$P(\overline{BA})$	$S(A)$	$S(B)$	$S(\overline{AB})$
세포	양분	26	53	50	0.49	0.52	0.25	0.33	0.81
산소	양분	24	48	50	0.50	0.48	0.21	0.33	0.69
산소	이산화탄소	22	48	36	0.46	0.61	0.21	0.20	0.20
세포	에너지	21	53	72	0.40	0.29	0.25	0.33	0.27
산소	세포	18	48	53	0.38	0.34	0.21	0.25	0.49
양분	에너지	16	50	72	0.32	0.22	0.33	0.33	0.89
산소	에너지	16	48	72	0.33	0.22	0.21	0.33	0.41
세포 호흡	에너지	15	30	72	0.50	0.21	0.29	0.33	0.36
생명 활동	에너지	13	17	72	0.76	0.18	0.27	0.33	0.31
에너지	포도당	12	72	25	0.17	0.48	0.33	0.28	0.55
물	이산화탄소	12	17	36	0.71	0.33	0.11	0.20	0.18
이산화탄소	포도당	11	36	25	0.31	0.44	0.20	0.28	0.25
물	포도당	10	17	25	0.59	0.40	0.11	0.28	0.25
생명 활동	세포	10	17	53	0.59	0.19	0.27	0.25	0.17
세포	순환계	9	53	15	0.17	0.60	0.25	0.33	0.69
호흡계	순환계	9	13	15	0.69	0.60	0.33	0.33	0.31
산소	세포 호흡	9	48	30	0.19	0.30	0.21	0.29	0.47
세포 호흡	이산화탄소	9	30	36	0.30	0.25	0.29	0.20	0.60
에너지	이산화탄소	9	72	36	0.12	0.25	0.33	0.20	0.43
노폐물	세포	9	16	53	0.56	0.17	0.27	0.25	0.56
소화계	호흡계	8	12	13	0.67	0.62	0.35	0.33	0.36
양분	지방	8	50	14	0.16	0.57	0.33	0.38	0.80
단백질	지방	8	12	14	0.67	0.57	0.19	0.38	0.29
에너지	ATP	8	72	14	0.11	0.57	0.33	0.11	0.17
소화계	순환계	8	12	15	0.67	0.53	0.35	0.33	0.33
배설계	호흡계	7	11	13	0.64	0.54	0.33	0.33	0.29
산소	순환계	7	48	15	0.15	0.47	0.21	0.33	0.58
양분	혈액	7	50	16	0.14	0.44	0.33	0.24	0.78
세포	세포 호흡	7	53	30	0.13	0.23	0.25	0.29	0.50
동화 작용	이화 작용	6	10	8	0.60	0.75	0.62	1.00	1.00

$F(A)$: 개념 A를 포함하는 관계의 빈도, $F(B)$: 개념 B를 포함하는 관계의 빈도, $F(\overline{AB})$: \overline{AB} 관계의 빈도

$P(\overline{AB})$: A개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도, $P(\overline{BA})$: B개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도

$S(A)$: 개념 A의 고유도, $S(B)$: 개념 B의 고유도, $S(\overline{AB})$: \overline{AB} 관계의 고유도

<표 IV-101> ‘물질대사’에 대한 고등학교 생명과학Ⅱ 교과서 개념 관계망의 주요 관계

개념A	개념B	$F(\overline{AB})$	$F(A)$	$F(B)$	$P(\overrightarrow{AB})$	$P(\overrightarrow{BA})$	$S(A)$	$S(B)$	$S(\overline{AB})$
효소	기질	32	139	60	0.23	0.53	0.90	0.98	1.00
에너지	ATP	30	97	127	0.31	0.24	0.36	0.82	0.65
포도당	ATP	22	59	127	0.37	0.17	0.39	0.82	0.81
효소	활성 부위	21	139	23	0.15	0.91	0.90	1.00	1.00
물	이산화탄소	21	83	50	0.25	0.42	0.20	0.22	0.31
ATP	NADH	20	127	39	0.16	0.51	0.82	1.00	1.00
피루브산	해당작용	20	33	51	0.61	0.39	1.00	1.00	1.00
이산화탄소	포도당	20	50	59	0.40	0.34	0.22	0.39	0.45
물	산소	20	83	64	0.24	0.31	0.20	0.25	0.41
ATP	ADP	19	127	21	0.15	0.90	0.82	0.88	0.86
TCA 회로	해당작용	19	39	51	0.49	0.37	1.00	1.00	1.00
에너지	전자	19	97	54	0.20	0.35	0.36	0.84	0.95
세포 호흡	에너지	19	61	97	0.31	0.20	0.60	0.36	0.45
ATP	NADPH	18	127	26	0.14	0.69	0.82	1.00	1.00
활성 부위	기질	18	23	60	0.78	0.30	1.00	0.98	1.00
ATP	해당작용	17	127	51	0.13	0.33	0.82	1.00	1.00
FADH2	NADH	16	20	39	0.80	0.41	1.00	1.00	1.00
세포 호흡	ATP	16	61	127	0.26	0.13	0.60	0.82	0.67
전자	전자 전달계	15	54	26	0.28	0.58	0.84	1.00	1.00
포도당	해당작용	15	59	51	0.25	0.29	0.39	1.00	1.00
세포	세포막	15	76	55	0.20	0.27	0.37	0.59	0.31
세포	에너지	15	76	97	0.20	0.15	0.37	0.36	0.19
미토콘드리아	ATP	15	48	127	0.31	0.12	0.74	0.82	0.79
TCA 회로	산화적 인산화	14	39	21	0.36	0.67	1.00	1.00	1.00
광합성	빛 에너지	14	72	35	0.19	0.40	0.35	0.59	0.41
ATP	H+	14	127	39	0.11	0.36	0.82	1.00	1.00
물	포도당	14	83	59	0.17	0.24	0.20	0.39	0.35
효소	기질 복합체	13	139	13	0.09	1.00	0.90	1.00	1.00
스트로마	틸라코이드	13	19	15	0.68	0.87	0.96	1.00	0.93
사이 공간	기질	11	11	60	1.00	0.18	1.00	0.98	1.00

$F(A)$: 개념 A를 포함하는 관계의 빈도, $F(B)$: 개념 B를 포함하는 관계의 빈도, $F(\overline{AB})$: \overline{AB} 관계의 빈도

$P(\overline{AB})$: A개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도, $P(\overrightarrow{BA})$: B개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도

$S(A)$: 개념 A의 고유도, $S(B)$: 개념 B의 고유도, $S(\overline{AB})$: \overline{AB} 관계의 고유도

(6) ‘물질대사’ 주제에 대한 학교급별 연계성

이상의 물질대사 핵심 주제에 대한 학교급별 교과서의 개념 관계망 분석을 통해 알아본 수직적 연계성의 분석 결과는 <표 IV-102>와 같이 요약될 수 있다. 초등학교에서는 식물의 주요 기관과 광합성에 대한 내용, 몸의 소화·순환·호흡·배설 기관의 기능에 대한 내용이 다루어졌고, 이 내용 중 식물 관련 내용은 중학교에서 발전적 연계성을 소화·순환·호흡·배설계의 구조와 기능에 대한 내용은 격차를 나타내었다(그림 IV-21). 생명과학 I에서는 물질대사 관련 내용이 중학교와 고등학교 과학에서 다른 내용 수준에서만 다루고 있어 계속성이 높은 반복의 경향을 보였다(그림 IV-23, 표 IV-100). 생명과학 I까지는 광합성과 세포 호흡과 관련하여 반응이 일어나는 장소와 반응에 필요한 물질과 생성물에 대한 내용만 다루었던 것에 비하여, 생명과학 II에서는 이를 분자수준의 화학 반응 수준에서 다룸으로써 그 내용이 비약적 심화되는 격차를 보였다(그림 IV-24, 표 IV-101), 이러한 격차는 학교급별 교과서에 따른 개념의 포함률에서도 생명과학 II에서 다른 학교급의 교과서에 비하여 현저하게 높게 나타는 것을 통해서도 알 수 있었다(표 IV-96).

<표 IV-102> ‘물질대사’에 대한 학교급 교과서별 수직적 연계성

학교급	주요 내용 및 연계성
초등학교 과학	식물의 기관 / 광합성, 증산작용 소화·순환·호흡·배설 / 영양소 / 외호흡
중학교 과학	[반복] 식물의 기관 / [격차] 식물의 호흡 [발전] 광합성 (엽록체, 포도당) / [발전] 증산작용 (기공) [격차] 소화·순환·호흡·배설계의 구조 및 기능 / [격차] 세포 호흡 [발전] 3대 영양소 / 노폐물: 이산화탄소, 암모니아
고등학교 과학	[반복] 광합성 / [발전] 빛 에너지->화학 에너지 / 파장 - 엽록소 [반복] 세포 호흡 / [발전] 광합성 <-> 세포 호흡
고등학교 생명과학 I	[발전] 세포 호흡 (미토콘드리아) (이화작용) [반복] 소화·순환·호흡·배설계 <- 세포호흡 [반복] 광합성 (탄소 동화작용) 빛 에너지->화학 에너지(ATP) / 파장 - 엽록소 [반복] 광합성 <-> 세포 호흡
고등학교 생명과학 II	[격차] 엽록체, 미토콘드리아 구조 [격차] 광합성: 암반응, 명반응 [격차] 세포 호흡: TCA 회로, 해당 작용, 발효 -> 화학 반응

3) ‘항상성’ 주제에 대한 학교급별 개념 관계망 및 연계성

항상성과 관련하여서는 각 학교급별 교과서의 내용 중 생명체의 자극에 대한 반응 및 병원체에 대한 방어 작용과 관련된 내용을 분석하였고, 고등학교 생명과학Ⅱ에는 항상성과 관련된 내용이 포함되고 있지 않았다.

항상성 핵심 주제에 대한 학교급별 관계망의 네트워크 특성은 <표 IV-103>과 같다. 학습량은 초등학교에서 중학교로 올라갈 때 크게 증가하였다가 고등학교 과학에서 크게 줄어들고 다시 고등학교 생명과학Ⅰ에서 큰 폭으로 증가하고 있었다. 개념 간 관계가 반복적으로 강조되는 정도는 중학교 과학 교과서에서 1.9로 가장 높았고 다음으로 고등학교 생명과학Ⅰ에서도 높게 나타났다. 각 관계망의 시각화 결과는 <그림 IV-25>부터 <그림 IV-28>까지, 각 관계망의 주요 관계를 분석한 결과는 <표 IV-104>부터 <표 IV-107>까지 제시하였다. 관계망의 시각화 결과와 주요 관계 분석 결과를 교과서의 내용과 연결 지어 분석하고 이를 통해 학교급별 교과서에서 항상성 핵심 주제로 다루어지는 내용과 특징을 알아본 결과는 다음과 같다.

<표 IV-103> ‘항상성’에 대한 학교급별 개념 관계망의 구조적 특성

학교급	개념 수 (%)	연결 수	평균 연결정도	평균 연결 가중치	지름	밀도
초등학교 과학	51 (6)	171	6.7	1.45	4	0.134
중학교 과학	306 (34)	1,791	11.7	1.90	6	0.038
고등학교 과학	116 (13)	477	8.2	1.29	5	0.072
고등학교 생명과학Ⅰ	740 (80)	4,956	13.4	1.51	6	0.018
영역 전체	927 (100)	6,750	14.6	1.74	6	0.016

(1) 초등학교 과학 교과서에 포함된 ‘항상성’에 대한 개념 관계망

〈그림 IV-25〉는 초등학교 교과서에 포함된 ‘항상성’ 관련 내용에 대한 개념 관계망이다. 초등학교에서는 생명의 항상성과 관련하여 5-6학년군의 우리 몸의 구조와 기능 단원에서 다루어지고 있었는데, 우리 몸이 외부의 자극을 받아들이는 주요 감각 기관의 종류, 받아들인 자극을 전달하고 해석하여 적절한 반응을 일으킬 신호를 기관으로 전달하는 신경계의 구조와 기능이 뇌를 중심으로 설명되고 있었다.

초등학교 교과서에서 나타난 항상성과 관련된 주요 관계는 자극-반응, 뇌-감각 기관, 뇌-중추 신경계-말초 신경계의 관계였다(표 IV-104).

(2) 중학교 과학 교과서에 포함된 ‘항상성’에 대한 개념 관계망

〈그림 IV-26〉은 중학교 교과서에 포함된 ‘항상성’ 관련 내용에 대한 개념 관계망이다. 중학교에서는 과학2 교과서의 자극과 반응 단원의 내용이 항상성과 관련된 내용이었다.

초등학교에서는 감각기관의 종류만 소개하고 그 구조와 기능을 자세하게 다루지는 않았으나 중학교 교과서에서는 눈, 귀, 코와 혀, 피부를 통해 시각, 청각, 후각과 미각, 촉각이 수용되는 과정이 각 감각기관의 구조와 함께 설명되고 있었다. 이와 관련된 내용을 나타내는 망막-수정체, 혀-맛 등의 주요 관계의 고유도($s(\overline{AB})$)가 1로 나타나고 있어 감각기관의 구조와 기능에 대한 내용이 중학교에서만 다루어짐을 알 수 있다(표 IV-105). 또 이러한 자극이 전달되는 신경계의 구조와 관련하여서는 초등학교에서는 중추 신경계와 말초 신경계로만 제시하였으나 중학교에서는 신경계를 구성하는 세포인 뉴런 개념을 도입하고 있었다. 뉴런의 구조와 뉴런을 통한 자극의 전달 경로, 그리고 자극의 수용과 판단, 반응을 위한 신호의 전달에서 수행하는 역할에 따른 뉴런의 종류가 다루어지고 있었다. 또 중추 신경계인 뇌와 척수를 구성하는 각 부분의 명칭과 기능에 대한 내용도 초등학교 교과서에 비하여 좀 더 자세히 설명하였고, 자극에 대한 반응 과정에서 중

추진경계가 하는 역할에 따라 반응의 종류를 나누어 설명하고 있었다(그림 IV-26, 표 IV-105).

초등학교에서는 다루어지지 않았던 항상성과 호르몬 개념을 처음 도입하여 인체의 주요 내분비샘과 호르몬의 종류와 기능을 소개하고 있었다. 그리고 호르몬과 신경이 인체의 항상성을 유지하는 원리와 관련하여 혈당량 조절, 체온 조절, 몸 속 물의 양 조절이 예를 들어 설명되고 있었다.

관계망의 분석을 통해 중학교 과정에서 다루어지는 항상성 영역의 내용은 자극-감각기관-뇌, 자극-몸-반응, 몸-호르몬-신경의 핵심 관계로 요약될 수 있었다(표 IV-105).

(3) 고등학교 과학 교과서에 포함된 ‘항상성’에 대한 개념 관계망

〈그림 IV-27〉은 고등학교 과학 교과서에 포함된 ‘항상성’ 관련 내용에 대한 개념 관계망이다. 고등학교 과학 교과서에서는 인류의 건강과 과학 기술 단원의 질병과 면역 소단원에서 인체의 방어 작용에 대한 내용을 다루고 있었다. 단원의 제목에서도 나타나듯이 인체가 외부로부터의 감염으로 인해 발생하는 질병에 어떻게 대응하는가에 관한 것으로 앞서 초등학교와 중학교에서 주로 다루어졌던 자극과 반응을 통한 항상성과는 다른 면에서의 항상성이 다루어진다. 세균과 바이러스 등의 병원체가 가지는 특징과 함께, 병원체의 감염에 대응하여 인체에서 일어나는 면역 기능이 항원, 항체, 백혈구 등의 개념을 통해 설명되고 있었다. 또 이러한 감염으로 인한 질병의 확산 방지를 위해 백신이 사용됨이 안내되고 있었다.

고등학교 과학 교과서에서 나타난 항상성 관련 핵심 관계는 병원체-바이러스-세균, 병원체-항체-항원, 질병-감염-백신-면역으로 요약될 수 있었다(그림 IV-27, 표 IV-106).

(4) 고등학교 생명과학 I 교과서에 포함된 ‘항상성’에 대한 개념 관계망

〈그림 IV-28〉은 고등학교 생명과학 I 교과서에 포함된 ‘항상성’ 관련 내용에 대한 개념 관계망이다. 고등학교 생명과학 I 교과서에서는 ‘항상성과 건강’ 단원에서 항상성에 대한 내용이 다루어지고 있었는데, 초등학교와 중학교에서 다루어진 신경계와 호르몬을 통한 항상성의 유지에 대한 내용과 고등학교 과학에서 다루어진 면역에 대한 내용이 심화되어 다루어지고 있었다.

먼저 중학교에서 학습한 신경계를 이루는 기본 단위인 뉴런에 대해서는 말이집과 랑비에 결절의 유무에 따라 그 종류를 더 세분화하고 있었다. 또 뉴런에서의 통한 흥분의 전도가 세포막을 통한 K^+ 와 Na^+ 의 이동으로 인한 막전위의 변화를 통해 일어나며 이 과정에서 탈분극, 활동전위, 재분극이 일어나게 되는 기작이 자세히 설명되고 있었다. 뉴런과 뉴런 사이 또는 뉴런과 뉴런 사이의 시냅스에서 신경 전달 물질을 통해 일어나는 흥분의 전달에 대한 내용도 다루어지고 있었다. 그리고 신경으로부터 전달된 신호에 의해 일어나는 근수축의 원리가 골격근의 구조와 함께 안내되고 있었다(그림 IV-28).

신경계의 구조와 관련하여서는 중학교에서 다루었던 중추신경계의 구조와 기능에 대한 내용이 심화되고 있었고, 이전 학교급에서는 크게 다루어지지 않았던 말초 신경계의 구조와 기능에 대한 내용이 자세하게 다루어지고 있었다. 특히 자율신경계를 구성하는 교감 신경과 부교감 신경이 인체의 각 기관에서 작용하는 길항 작용과 관련하여 그 구조와 신경 전달 물질의 차이와 함께 설명되고 있었다.

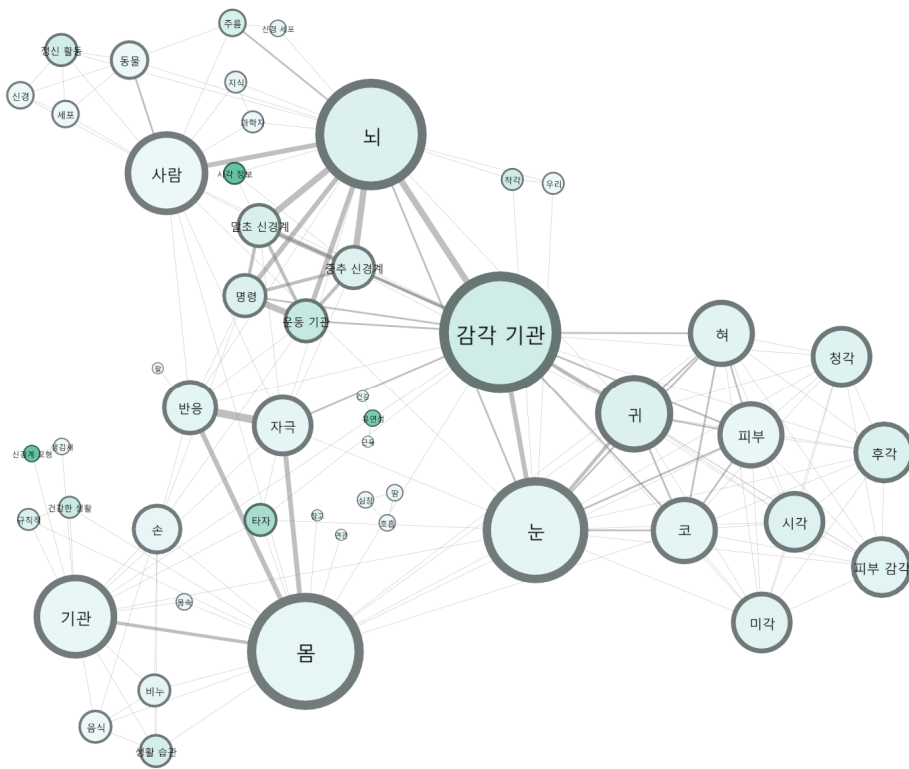
신경과 호르몬이 함께 작용하여 인체의 항상성을 조절하는 원리에 대해서는 이미 중학교에서 소개한 혈당량 조절, 체온 조절, 삼투압 조절에 대하여 그 기작과 관여된 내분비기관과 호르몬, 신경의 종류와 기능을 심화하여 제시하고 있었다.

생명과학 I 교과서에서는 고등학교 과학에서 소개된 인체의 방어 작용에 대해서도 심화하여 다루고 있었다. 피부와 점막, 염증 반응 등을 통한

1차 방어 작용과 2차 방어 작용(면역 반응)으로 구분하고, 면역 반응을 다시 세포성 면역과 항체를 생산하는 체액성 면역 등으로 나누어 자세하게 설명하고 있었다. 항원 항체 반응과 관련하여서는 혈액형 판정에 사용되는 응집 반응을 대표적인 예로 들고 있었다.

분석을 통해 알아본 생명과학 I 교과서 내용의 항상성 관련 핵심 관계는 항원-항체, 질병-병원체, 자극-뉴런-척수-뇌, 신경-호르몬, 교감 신경-부교감 신경, 호르몬-분비, 근육-수축의 관계로 요약될 수 있었다(표 IV-107).

생명과학 I 교과서에서는 생명의 항상성과 관련하여 이전 학교급의 교과서에서 사용된 개념들을 모두 합한 것보다도 많은 개념이 포함되고 있었는데, 이는 앞서 살펴본 대로 생명과학 I 교과서에서는 앞서 다루어진 내용들 모두를 심화하여 제시하고 있기 때문임을 알 수 있다.



Note. 노드의 크기는 연결중심성에 비례, 음영은 고유도에 비례, 연결선의 굵기는 관계의 가중치(≥ 1)에 비례.

<그림 IV-25> ‘항상성’에 대한 초등학교 과학 교과서의 개념 관계망

<표 IV-104> ‘항상성’에 대한 초등학교 과학 교과서 개념 관계망의 주요 관계

개념A	개념B	$F(\overline{AB})$	$F(A)$	$F(B)$	$P(\overline{AB})$	$P(\overline{BA})$	$S(A)$	$S(B)$	$S(\overline{AB})$
자극	반응	6	9	9	0.67	0.67	0.09	0.11	0.13
운동 기관	명령	5	5	5	1.00	1.00	0.33	0.13	0.50
뇌	말초 신경계	5	15	5	0.33	1.00	0.15	0.21	0.45
뇌	중추 신경계	5	15	5	0.33	1.00	0.15	0.17	0.38
뇌	감각 기관	5	15	8	0.33	0.62	0.15	0.32	0.38
뇌	운동 기관	4	15	5	0.27	0.80	0.15	0.33	0.67
뇌	명령	4	15	5	0.27	0.80	0.15	0.13	0.31
말초 신경계	중추 신경계	4	5	5	0.80	0.80	0.21	0.17	0.18
눈	감각 기관	4	6	8	0.67	0.50	0.14	0.32	0.50
뇌	사람	4	15	8	0.27	0.50	0.15	0.08	0.19
몸	자극	4	19	9	0.21	0.44	0.23	0.09	0.21
몸	반응	4	19	9	0.21	0.44	0.23	0.11	0.16
말초 신경계	운동 기관	3	5	5	0.60	0.60	0.21	0.33	0.60
감각 기관	중추 신경계	3	8	5	0.38	0.60	0.32	0.17	0.50
말초 신경계	명령	3	5	5	0.60	0.60	0.21	0.13	0.43
중추 신경계	명령	3	5	5	0.60	0.60	0.17	0.13	0.43
운동 기관	중추 신경계	3	5	5	0.60	0.60	0.33	0.17	0.43
귀	감각 기관	3	3	8	1.00	0.38	0.26	0.32	0.38
기관	몸	3	5	19	0.60	0.16	0.18	0.23	0.12
뇌	주름	2	15	2	0.13	1.00	0.15	0.38	1.00
감각 기관	피부	2	8	2	0.25	1.00	0.32	0.07	0.67
감각 기관	말초 신경계	2	8	5	0.25	0.40	0.32	0.21	0.67
감각 기관	명령	2	8	5	0.25	0.40	0.32	0.13	0.33
감각 기관	운동 기관	2	8	5	0.25	0.40	0.32	0.33	0.25
혀	감각 기관	2	2	8	1.00	0.25	0.11	0.32	0.67
자극	감각 기관	2	9	8	0.22	0.25	0.09	0.32	0.10
감각 기관	미각	1	8	1	0.12	1.00	0.32	0.09	1.00
감각 기관	후각	1	8	1	0.12	1.00	0.32	0.12	1.00
감각 기관	피부 감각	1	8	1	0.12	1.00	0.32	0.07	1.00
감각 기관	청각	1	8	1	0.12	1.00	0.32	0.10	1.00

$F(A)$: 개념 A를 포함하는 관계의 빈도, $F(B)$: 개념 B를 포함하는 관계의 빈도, $F(\overline{AB})$: \overline{AB} 관계의 빈도

$P(\overline{AB})$: A개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도, $P(\overline{BA})$: B개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도

$S(A)$: 개념 A의 고유도, $S(B)$: 개념 B의 고유도, $S(\overline{AB})$: \overline{AB} 관계의 고유도



Note. 노드의 크기는 연결중심성에 비례, 음영은 고유도에 비례, 연결선의 굵기는 관계의 가중치(≥ 3)에 비례, 색상이 다른 노드는 이전 학교급에 비해 새로이 추가된 개념

<그림 IV-26> ‘항상성’에 대한 중학교 과학 교과서의 개념 관계망

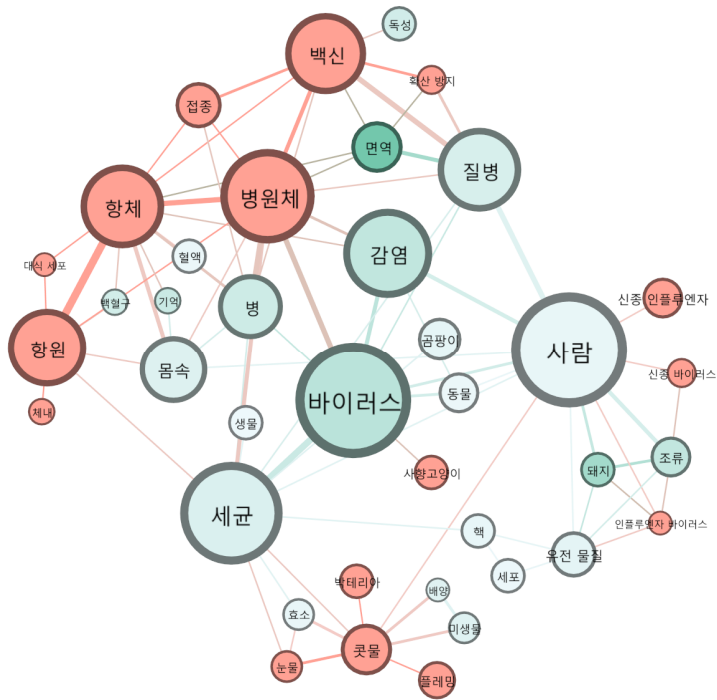
<표 IV-105> ‘항상성’에 대한 중학교 과학 교과서 개념 관계망의 주요 관계

개념A	개념B	$F(\overline{AB})$	$F(A)$	$F(B)$	$P(\overline{AB})$	$P(\overline{BA})$	$S(A)$	$S(B)$	$S(\overline{AB})$
신경	호르몬	20	26	38	0.77	0.53	0.35	0.48	0.50
자극	반응	20	78	58	0.26	0.34	0.52	0.53	0.43
뇌	자극	15	35	78	0.43	0.19	0.32	0.52	0.48
몸	반응	14	56	58	0.25	0.24	0.32	0.53	0.56
자극	감각 기관	13	78	19	0.17	0.68	0.52	0.55	0.62
눈	빛	12	59	22	0.20	0.55	0.59	0.23	0.80
망막	수정체	11	15	18	0.73	0.61	1.00	1.00	1.00
분비	호르몬	11	23	38	0.48	0.29	0.33	0.48	0.48
이자	인슐린	10	16	24	0.62	0.42	0.47	0.42	0.53
혀	맛	10	18	31	0.56	0.32	0.74	0.79	1.00
분비	이자	9	23	16	0.39	0.56	0.33	0.47	0.45
인슐린	혈당량	9	24	27	0.38	0.33	0.42	0.46	0.41
신호	호르몬	9	14	38	0.64	0.24	0.48	0.48	1.00
몸	호르몬	9	56	38	0.16	0.24	0.32	0.48	0.53
대뇌	반응	9	22	58	0.41	0.16	0.49	0.53	0.75
눈	동공	8	59	10	0.14	0.80	0.59	0.77	1.00
자극	뉴런	8	78	13	0.10	0.62	0.52	0.25	0.42
말초 신경계	중추 신경계	8	12	15	0.67	0.53	0.36	0.46	0.36
체온	시상 하부	7	23	8	0.30	0.88	0.45	0.24	0.58
연합 뉴런	운동 뉴런	7	11	9	0.64	0.78	0.61	0.39	0.54
감각 뉴런	연합 뉴런	7	9	11	0.78	0.64	0.53	0.61	0.58
자극	반사	7	78	13	0.09	0.54	0.52	0.62	0.64
신경	항상성	7	26	15	0.27	0.47	0.35	0.52	0.64
체온	땀	6	23	14	0.26	0.43	0.45	0.52	0.55
신경 세포체	가지 돌기	6	7	7	0.86	0.86	0.54	0.54	0.75
물	항이뇨 호르몬	6	22	7	0.27	0.86	0.25	0.44	0.75
뉴런	가지 돌기	6	13	7	0.46	0.86	0.25	0.54	0.67
몸	항상성	6	56	15	0.11	0.40	0.32	0.52	0.50
연합 뉴런	명령	6	11	17	0.55	0.35	0.61	0.46	1.00
연수	중간뇌	5	7	7	0.71	0.71	0.41	1.00	1.00

$F(A)$: 개념 A를 포함하는 관계의 빈도, $F(B)$: 개념 B를 포함하는 관계의 빈도, $F(\overline{AB})$: \overline{AB} 관계의 빈도

$P(\overline{AB})$: A개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도, $P(\overline{BA})$: B개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도

$S(A)$: 개념 A의 고유도, $S(B)$: 개념 B의 고유도, $S(\overline{AB})$: \overline{AB} 관계의 고유도



Note. 노드의 크기는 연결중심성에 비례, 음영은 고유도에 비례, 연결선의 굵기는 관계의 가중치(≥ 2)에 비례. 색상이 다른 노드는 이전 학교급에 비해 새로이 추가된 개념

<그림 IV-27> ‘항상성’에 대한 고등학교 과학 교과서의 개념 관계망

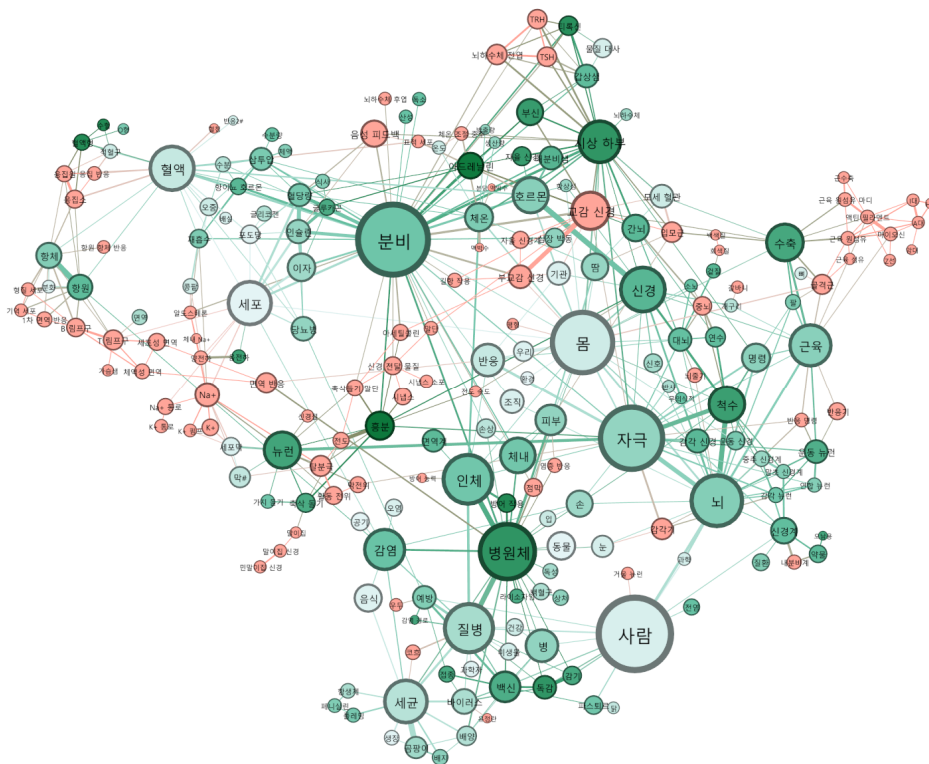
<표 IV-106> ‘항상성’에 대한 고등학교 과학 교과서 개념 관계망의 주요 관계

개념A	개념B	$F(\overline{AB})$	$F(A)$	$F(B)$	$P(\overline{AB})$	$P(\overline{BA})$	$S(A)$	$S(B)$	$S(\overline{AB})$
항원	항체	7	11	14	0.64	0.50	0.34	0.27	0.24
바이러스	세균	6	14	15	0.43	0.40	0.30	0.17	0.27
질병	백신	5	15	11	0.33	0.45	0.36	0.33	0.50
병	병원체	5	6	12	0.83	0.42	0.36	0.20	0.56
바이러스	병원체	5	14	12	0.36	0.42	0.30	0.20	0.45
병원체	항체	5	12	14	0.42	0.36	0.20	0.27	0.71
사람	질병	5	13	15	0.38	0.33	0.15	0.36	0.18
사람	감염	4	13	8	0.31	0.50	0.15	0.27	0.50
질병	면역	4	15	9	0.27	0.44	0.36	0.65	0.80
세균	병원체	4	15	12	0.27	0.33	0.17	0.20	0.40
백신	병원체	4	11	12	0.36	0.33	0.33	0.20	0.40
질병	확산 방지	3	15	3	0.20	1.00	0.36	1.00	1.00
미생물	배양	3	4	3	0.75	1.00	0.12	0.08	0.50
백신	접종	3	11	4	0.27	0.75	0.33	0.36	0.38
눈물	콧물	3	3	7	1.00	0.43	0.43	0.88	1.00
병	항체	3	6	14	0.50	0.21	0.36	0.27	1.00
사람	인플루엔자 바이러스	2	13	2	0.15	1.00	0.15	0.29	1.00
조류	신종 바이러스	2	4	2	0.50	1.00	0.20	1.00	1.00
세균	콧물	2	15	7	0.13	0.29	0.17	0.88	1.00
세균	항원	2	15	11	0.13	0.18	0.17	0.34	1.00
백혈구	항원	2	3	11	0.67	0.18	0.20	0.34	1.00
병원체	항원	2	12	11	0.17	0.18	0.20	0.34	0.50
면역	백신	2	9	11	0.22	0.18	0.65	0.33	0.50
대식 세포	항원	2	4	11	0.50	0.18	0.55	0.34	0.40
면역	병원체	2	9	12	0.22	0.17	0.65	0.20	0.40
질병	병원체	2	15	12	0.13	0.17	0.36	0.20	0.09
백혈구	항체	2	3	14	0.67	0.14	0.20	0.27	1.00
백신	항체	2	11	14	0.18	0.14	0.33	0.27	1.00
접종	항체	2	4	14	0.50	0.14	0.36	0.27	1.00
면역	항체	2	9	14	0.22	0.14	0.65	0.27	0.67

$F(A)$: 개념 A를 포함하는 관계의 빈도, $F(B)$: 개념 B를 포함하는 관계의 빈도, $F(\overline{AB})$: \overline{AB} 관계의 빈도

$P(\overline{AB})$: A개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도, $P(\overline{BA})$: B개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도

$S(A)$: 개념 A의 고유도, $S(B)$: 개념 B의 고유도, $S(\overline{AB})$: \overline{AB} 관계의 고유도



Note. 노드의 크기는 연결중심성에 비례, 음영은 고유도에 비례, 연결선의 굵기는 관계의 가중치(≥ 3)에 비례, 색상이 다른 노드는 이전 학교급에 비해 새로이 추가된 개념

<그림 IV-28> ‘항상성’에 대한 고등학교 생명과학 I 교과서의 개념 관계망

<표 IV-107> ‘항상성’에 대한 고등학교 생명과학 I 교과서 개념 관계망의 주요 관계

개념A	개념B	$F(\overline{AB})$	$F(A)$	$F(B)$	$P(\overline{AB})$	$P(\overline{BA})$	$S(A)$	$S(B)$	$S(\overline{AB})$
항원	항체	17	22	22	0.77	0.77	0.54	0.45	0.59
신경	호르몬	16	46	31	0.35	0.52	0.59	0.45	0.40
뇌	척수	15	45	32	0.33	0.47	0.44	0.76	0.75
인체	병원체	15	40	63	0.38	0.24	0.60	0.79	0.94
질병	병원체	15	47	63	0.32	0.24	0.36	0.79	0.65
교감 신경	부교감 신경	13	26	19	0.50	0.68	1.00	1.00	1.00
자극	척수	13	52	32	0.25	0.41	0.38	0.76	0.76
뇌	자극	13	45	52	0.29	0.25	0.44	0.38	0.42
인슐린	혈당량	12	19	26	0.63	0.46	0.39	0.44	0.55
홍분	진도	11	27	11	0.41	1.00	0.97	1.00	0.85
독감	감기	11	16	13	0.69	0.85	0.86	0.75	1.00
마이오신	액틴 필라멘트	10	10	12	1.00	0.83	0.71	1.00	1.00
글루카곤	인슐린	9	12	19	0.75	0.47	0.63	0.39	0.64
글루카곤	혈당량	9	12	26	0.75	0.35	0.63	0.44	0.64
자극	뉴런	9	52	35	0.17	0.26	0.38	0.71	0.47
응집소	응집원	8	16	10	0.50	0.80	1.00	1.00	1.00
수축	이완	8	23	11	0.35	0.73	0.66	0.69	0.67
분비	아드레날린	8	62	12	0.13	0.67	0.53	0.92	1.00
분비	글루카곤	8	62	12	0.13	0.67	0.53	0.63	0.67
이자	인슐린	8	13	19	0.62	0.42	0.40	0.39	0.42
분비	시상 하부	8	62	26	0.13	0.31	0.53	0.76	1.00
신경계	내분비계	7	23	7	0.30	1.00	0.66	1.00	0.58
A대	I대	7	8	8	0.88	0.88	1.00	1.00	1.00
분비	항이노 호르몬	7	62	9	0.11	0.78	0.53	0.56	0.70
B 림프구	T 림프구	7	10	15	0.70	0.47	0.61	1.00	1.00
근육	수축	7	27	23	0.26	0.30	0.47	0.66	1.00
세균	질병	7	43	47	0.16	0.15	0.25	0.36	0.32
시상 하부	TRH	6	26	6	0.23	1.00	0.76	1.00	1.00
갑상샘	티록신	6	8	8	0.75	0.75	0.60	0.80	0.75
근육 원섬유 마디	마이오신	6	13	10	0.46	0.60	1.00	0.71	1.00

$F(A)$: 개념 A를 포함하는 관계의 빈도, $F(B)$: 개념 B를 포함하는 관계의 빈도, $F(\overline{AB})$: \overline{AB} 관계의 빈도

$P(\overline{AB})$: A개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도, $P(\overline{BA})$: B개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도

$S(A)$: 개념 A의 고유도, $S(B)$: 개념 B의 고유도, $S(\overline{AB})$: \overline{AB} 관계의 고유도

(5) ‘항상성’ 주제에 대한 학교급별 연계성

이상의 항상성 핵심 주제에 대한 학교급별 교과서의 개념 관계망 분석을 통해 알아본 수직적 연계성의 분석 결과는 <표 IV-108>과 같이 요약될 수 있다. 항상성 주제에서는 927개의 관련 개념에 대한 포함율이 중학교와 고등학교 생명과학 I에서 각각 34%와 80%로 높게 나타나 두 학교급에서 관련된 내용이 주로 다루어지고 있고, 학습량은 생명과학 I에 편중되고 있음을 알 수 있다(표 IV-103). 초등학교와 중학교 사이에서는 감각기관과 신경계의 종류에 대한 내용이 발전적 연계성을 보였고, 감각기관과 신경계의 세부 구조에 대한 내용과 호르몬과 인체의 항상성 조절, 반응의 종류에 대한 내용은 격차를 나타내었다(그림 IV-26). 고등학교 과학에서는 질병을 일으키는 외부의 감염에 대한 인체의 면역에 대한 내용을 처음 다루고 있어 이전 학교급의 내용들과는 격차를 보였다(그림 IV-27). 고등학교 생명과학 I에서는 이전 학교급에서 항상성과 관련하여 다룬 모든 내용이 발전적으로 심화되고 있었고, 근 수축을 포함한 신경 전달의 기작, 자율 신경계의 기능, 면역에 대한 내용은 이전 학교급에서 다루어진 내용과 비교할 때 그 연계성에서 격차를 보이고 있었다(그림 IV-28).

<표 IV-108> ‘항상성’에 대한 학교급 교과서별 수직적 연계성

학교급	주요 내용 및 연계성
초등학교 과학	인체 : 감각기관, 신경계 구조 (뇌, 중추신경계, 말초 신경계)
중학교 과학	[발전] 감각 기관의 종류와 기능 / [격차] 감각기관의 세부 구조 [발전] 신경계 종류 / [격차] 뉴런, 뇌 구조 / [격차] 반응의 종류 [격차] 호르몬과 내분비샘 / [격차] 체온, 혈당량, 삼투 조절
고등학교 과학	[격차] 질병(병원체, 세균, 바이러스, 감염) [격차] 면역(항원, 항체, 백신)
고등학교 생명과학 I	[발전] 뉴런의 구조 -> [격차] 흥분 전도 : 막전위, 시냅스, 근 수축 [발전] 신경계 구조 / 뇌 구조, 기능 [격차] 자율신경계 - 교감, 부교감 신경 / 길항 작용 [발전] 신경-호르몬-항상성 : 체온, 혈당량, 삼투 조절 [격차] 면역 - 1차, 2차(세포성, 체액성) -> 항원-항체 반응 (혈구 응집)

4) ‘연속성’ 주제에 대한 학교급별 개념 관계망 및 연계성

생명의 연속성에 대해 현행 교육과정의 교과서에서는 어떻게 다루고 있는지 분석한 학교급별 관계망의 네트워크 특성은 <표 IV-109>와 같다. 생명의 연속성에 대해 교과서에 제시되고 있는 학습량은 초등학교에서 중학교로 올라갈 때 큰 폭으로 증가한 후, 중학교에서 고등학교 생명과학Ⅱ 꾸준히 전체 개념 수 대비 20%~40%의 학습량을 유지하는 경향을 나타내어 다른 주제들에서 보여주는 최상위 학년에서 나타나는 학습량의 급격한 양적 증가는 나타나지 않았다.

각 관계망의 시각화 결과는 <그림 IV-29>부터 <그림 IV-33>까지, 주요 관계를 분석한 결과는 <표 IV-110>부터 <표 IV-114>까지 제시하였다. 관계망의 시각화 결과와 주요 관계 분석 결과를 교과서의 내용과 연결 지어 분석하고 이를 통해 학교급별 교과서에서 생명의 연속성에 대해 다루어지는 내용과 특징을 알아본 결과는 다음과 같다.

<표 IV-109> ‘연속성’에 대한 학교급별 개념 관계망의 구조적 특성

학교급	개념 수(%)	연결 수	평균 연결정도	평균 연결 가중치	지름	밀도
초등학교 과학	164 (13)	607	7.4	1.57	6	0.045
중학교 과학	506 (40)	3,106	12.3	1.74	6	0.024
고등학교 과학	302 (24)	1,588	10.5	1.42	7	0.035
고등학교 생명과학Ⅰ	505 (40)	3,111	12.3	1.60	8	0.024
고등학교 생명과학Ⅱ	436 (35)	2,738	12.6	1.63	7	0.029
영역 전체	1,267 (100)	9,523	15.0	1.89	7	0.012

(1) 초등학교 과학 교과서에 포함된 ‘연속성’에 대한 개념 관계망

<그림 IV-29>는 초등학교 교과서에 포함된 ‘생명의 연속성’ 관련 내용에 대한 개념 관계망이다. 초등학교에서는 생명의 연속성과 관련한 내용이

3-4학년군의 동물의 한살이와 식물의 한살이 단원, 5-6학년군의 식물의 구조와 기능 단원 중 꽃에 대한 내용에서 다루어지고 있었다.

초등학교 교과서에서는 생명의 연속성에 대하여 구체적인 생물 종을 예로 들어 그 종이 알이나 씨앗에서부터 자라 다시 다음 세대의 자손을 만들기까지의 과정이 자세하게 설명되고 있었고, 동물은 배추흰나비의 한살이, 식물은 강낭콩의 생장 과정이 주요 예로 쓰였다. 동물의 한살이와 관련하여서는 곤충의 종에 따른 한살이 과정의 차이, 새끼를 낳거나 알을 낳는 장소가 다른 동물의 한살이를 비교함으로써 생물의 다양성에 대한 내용과 연계시키고 있었다. 또 동물의 한살이와 번식 과정에서 관찰할 수 있는 암수의 생김새와 역할의 차이에 대한 내용이 포함되고 있었고 이를 위하여 다양한 생물 종이 제시되고 있었다. 식물의 생식과 관련하여서는 꽃의 구조에 대한 내용과 꽃가루받이(수분)에 대한 내용을 제시하고 있었다.

초등학교 교과서에서 연속성과 관련하여 나타난 주요 관계는 동물-한살이, 동물-알-애벌레, 동물-암수-새끼, 식물-씨-열매, 식물-꽃 등의 관계였다(표 IV-110).

(2) 중학교 과학 교과서에 포함된 ‘연속성’에 대한 개념 관계망

〈그림 IV-30〉은 중학교 교과서에 포함된 ‘생명의 연속성’ 관련 내용에 대한 개념 관계망이다. 중학교에서는 생명의 연속성에 대한 내용이 과학3 교과서에서 다루어지고 있었다.

교과서에서는 생물이 자손을 만드는 과정인 생식의 방법에 대해 무성 생식은 분열법, 출아법, 영양 생식 등을 예로 들어 설명하고 있고, 유성 생식은 식물의 수분, 동물의 수정을 통한 생식 세포의 결합을 통해 일어남을 설명하고 있었다. 또 이러한 생식의 방법이 각각 체세포 분열과 생식세포 분열을 통한 유전 정보, 즉 유전자의 전달과 연관되어 있고 이 유전 정보는 세포 핵 속의 염색체에 있음을 설명하면서 유전자 개념이 도입되고 있었다. 체세포 분열과 생식 세포 분열의 과정이 염색체의 변화와 이동을 중심으로 단계별로 제시되고 있었고, 두 가지 세포 분열의 차이점과 그 의

의도 설명되고 있었다.

유성 생식의 과정인 수정과 발생과 관련된 내용으로는 사람의 생식과 발생의 과정이 포함되고 있었다. 남성과 여성의 생식 기관의 구조와 기능과 함께 생식세포인 정자와 난자의 구조와 기능에 대한 내용이 다루어지고 있었고, 정자와 난자가 결합하여 수정란을 형성하는 과정이 수정임이 설명되고 있었다. 또 수정된 수정란이 세포분열(난할)을 계속하면서 모체의 자궁에 착상하고 계속 자라 하나의 개체로 되기까지의 과정인 발생 개념을 도입하고 있었다. 그리고 수정란이 자궁에 착상하여 자라는 태아와 모체 사이에서는 태반을 통해 영양소와 노폐물 등의 물질 교환이 일어남을 설명하는 내용을 포함시켜, 임신부가 약을 잘못 복용하거나 음주, 흡연 등을 하게 되면 태아에게 나쁜 영향을 줄 수 있음을 설명하고 있었다.

부모가 가진 형질이 자손에게 전달되는 유전과 관련하여서는 멘델이 완두의 대립 형질을 이용한 교배 실험을 통해 밝힌 유전의 기본 원리가 설명되고 있었고, 이를 위하여 우성, 열성, 유전자형, 표현형, 순종, 잡종 등의 다양한 개념들이 도입되고 있었다. 또 앞서 학습한 유전자와 염색체, 생식세포 분열의 과정과 결과를 유전 현상과 연결 지어 설명하고 있었다. 또 허말기, 보조개, 눈꺼풀 등 다양한 사람의 유전 형질을 소개하고, 사람의 유전 현상을 분석하는 대표적인 방법으로 가계도 조사와 쌍둥이 연구 등의 방법이 사용됨이 설명되고 있었다. 특히 멘델의 유전 법칙을 따르는 사람의 유전 현상인 미맹과 복대립 유전자에 의한 혈액형의 유전이 유전자형을 이용하여 설명되고 있었다. 그리고 멘델의 원리를 따르지 않는 유전 현상의 예로는 X 염색체 연관 유전인 색맹의 유전을 반성 유전의 예로 들고 있었다.

초등학교에서는 생물의 연속성에 대한 내용이 주로 동물과 식물의 구조 및 발생 과정 등을 나타내는 구체적 개념들을 중심으로 내용이 구성되고 있었고(표 IV-110), 그 개념의 수도 많지 않았다(표 IV-109). 이와는 달리 중학교에서는 생명의 연속성에 관련된 내용에서 많은 개념이 새롭게 도입되고 있었고(표 IV-109), 그 개념들 대부분이 직접 관찰하기 어렵거나

추상적인 개념들이었다(그림 IV-30, 표 IV-111). 이는 김현아 등(2006)이 7차 교육과정의 중학교 과학 교과서에서 생명의 연속성 관련 개념들이 형식적 조작 수준의 인지 발달을 필요로 하는 개념들이 많음을 밝혔던 연구의 결과와도 일치하는 것이다.

개념 관계망 분석을 통해 중학교 교과서에서 나타난 연속성과 관련한 주요 관계는 세포-분열, 생물-세포-염색체, 염색체-유전자-형질, 정자-난자-수정, 사람-유전-형질-자손, 유전-멘델-대립 형질-완두, 태아-모체-임신, 생물-생식 방법 등의 관계로 요약할 수 있었다(표 IV-111).

(3) 고등학교 과학 교과서에 포함된 '연속성'에 대한 개념 관계망

〈그림 IV-31〉는 고등학교 과학 교과서에 포함된 '생명의 연속성' 관련 내용에 대한 개념 관계망이다. 고등학교 과학 교과서에서는 생명의 진화 단원의 중단원으로서 생명의 연속성에 대한 내용이 다루어지고 있었다.

고등학교 과학에서는 중학교에서 다룬 염색체와 유전자에 대한 내용을 좀 더 심화하여 그 구조와 기능을 설명하고 있었는데, DNA 개념을 새로이 도입하여 그 구조와 기능을 설명함으로써 유전자의 실체가 DNA 상에 존재하는 뉴클레오타이드(A, T, G, C)에 포함된 염기의 서열임이 다루어지고 있었다. 또 DNA의 유전 정보에는 아미노산의 서열이 암호화되어 있고, 이 정보가 RNA에 전사되고 번역됨에 따라 단백질이 합성됨을 나타내는 유전자 발현의 중심원리도 간단히 설명되고 있었다(표 IV-112).

생식을 통한 유전자의 전달에 대해서는 중학교(그림 IV-30, 표 IV-111)에서 다루었던 무성 생식과 유성 생식의 차이를 다시 한 번 설명하고, 유성 생식을 중심으로 감수 분열(생식 세포 분열)에 의한 생식 세포의 생성과 수정에 대한 내용이 다시 다루어지고 있었다.

중학교 교과서에서는 유성 생식을 통한 유전적 다양성의 증가와 관련하여 '부모 양쪽으로부터 유전 물질을 물려받으므로 다양한 형질을 나타낼 수 있다' 라고만 설명하고 있었으나 고등학교 과학 교과서에서는 감수 분열 과정에서 발생하는 교차와 모계, 부계 염색체의 무작위 분리, 수정 시

에 발생하는 난자와 정자의 무작위 결합을 통해 자손의 유전적 다양성이 증가할 수 있음이 구체적으로 설명되고 있었다.

요약해보면 고등학교 과학 교과서에서는 중학교 교과서에서 다룬 내용 중 유성 생식과 감수 분열과정 대한 내용을 반복 제시하고 있었고, 유전자 개념을 심화하여 DNA의 구조와 기능이 추가적으로 제시되고 있었다.

개념 관계망 분석을 통해 고등학교 과학 교과서에서 나타난 연속성과 관련한 주요 관계는 염색체-유전자-DNA, 유전자-DNA-단백질, 난자-정자-수정, 유성생식-감수분열-유전적 다양성의 관계로 요약할 수 있었다(표 IV-112).

(4) 고등학교 생명과학 I 교과서에 포함된 ‘연속성’에 대한 개념 관계망

〈그림 IV-32〉는 고등학교 생명과학 I 교과서에 포함된 ‘생명의 연속성’ 관련 내용에 대한 개념 관계망이다. 생명과학 I의 세포와 생명의 연속성 단위에서는 500개 이상의 개념이 생명의 연속성에 대한 내용을 구성하고 있었다(표 IV-109).

생명과학 I의 내용 중 멘델의 유전 원리에 대한 내용은 중학교 과학에서 다루어진 내용(그림 IV-30)에 반복되고 있었고, 염색체 개념을 중심으로 한 세포 분열에 대한 내용은 중학교와 고등학교 과학에서 다루어진 내용이 반복되고 있었다(그림 IV-30, 그림 IV-31). 또 염색체의 구조와 DNA에 대한 내용은 고등학교 과학에서 다루어진 내용(그림 IV-31)에 염색사를 이루는 물질들에 대한 내용이 추가되고 있었다(표 IV-113).

이전 학교급의 교과서에서 이미 다룬 내용이 심화되는 내용으로는 이전 학교급에서는 세포 주기 중 분열기에 나타나는 염색체의 이동만을 중심으로 설명하였던 것에 비하여 G1, S, G2기를 포함하는 간기의 세부 단계에 대해서도 심화하여 다루어지고 있었고, 이 세포 주기를 세포에 존재하는 유전 물질의 양 변화와도 연결하여 설명하고 있었다. 또 세포 주기의 조절과 관련하여 이상이 생기면 암세포가 발생할 수 있음이 함께 설명되고 있었다.

유전과 관련하여서는 중학교에서 이미 다루었던 멘델의 유전과 함께 초파리의 유전을 예로 들어 연관 유전에 대한 설명이 추가되고 있었다. 또 사람의 유전 현상에 대하여서는 중학교에서 다루어졌던 대표적인 형질의 유전 현상에 대해 반복하고 있었고, 추가로 사람의 돌연변이에 대한 내용이 새로이 포함되고 있었다. 돌연변이와 유전자의 이상으로 나타나는 현상과 유전병을 설명하기 위하여 염색체 비분리, 전좌, 결실, 변이, 다운 증후군, 헌팅턴 무도병 등의 새로운 개념들이 제시되고 있었다. 특히 돌연변이와 변이의 개념은 연속성 영역에서는 생명과학 I 에서 처음 나타나고 있었다(그림 IV-32, 표 IV-113).

개념 관계망 분석을 통해 고등학교 생명과학 I 교과서에서 나타난 연속성과 관련한 주요 관계는 사람-유전자-염색체, 유전자-형질-대립 유전자, 염색체-세포-분열, 유전-멘델-완두의 관계로 대체적으로 중학교 교과서와 같은 내용으로 요약될 수 있었고, 고유한 관계는 염색체-유전병-유전자의 관계로 요약될 수 있었다(표 IV-113).

(5) 고등학교 생명과학Ⅱ 교과서에 포함된 ‘연속성’에 대한 개념 관계망

〈그림 IV-33〉은 고등학교 생명과학Ⅱ 교과서에 포함된 ‘생명의 연속성’ 관련 내용에 대한 개념 관계망이다. 고등학교 생명과학Ⅱ 교과서에서 생명의 연속성에 대한 내용은 유전자와 생명 공학 단원의 유전자와 형질 발현 중단원에서 다루어지고 있었다. 생명과학Ⅱ 교과서의 내용은 중학교 교과서에서 중심으로 다루어진 세포 분열이나 유전의 원리에 대한 내용은 포함되고 있지 않았고, 고등학교 과학, 생명과학 I 에서 다루어진 DNA의 구조와 유전자 발현에 대한 내용이 심화되어 다루어지고 있었다.

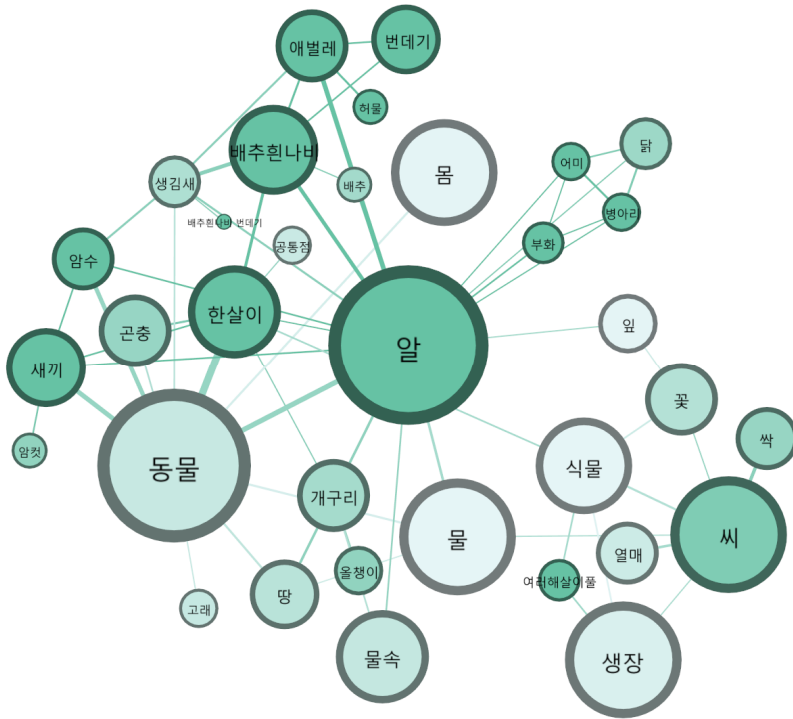
먼저 유전 물질 소단원에서는 DNA가 유전 물질임을 증명한 실험들의 내용과 함께, 이미 고등학교 과학과 생명과학 I 에서 다룬 DNA의 구조에 대한 내용을 반복하여 제시하고 있었다. 이에 추가되는 내용으로 DNA의 복제에 대한 내용을 DNA의 구조와 관련된 효소들과 함께 학습 내용으로 포함되어 있었다.

유전자의 발현 소단원에서는 고등학교 과학1에서 간단히 설명되었던 유전 정보의 중심 원리가 심화되고 있어 고유도($S(A)$, $S(B)$, $S(\overline{AB})$)가 높은 개념과 관계들이 다수 나타나고 있었다. DNA의 유전 정보가 mRNA로 전사되고, 다시 이 mRNA의 정보로부터 단백질이 합성되는 번역의 과정이 각 과정에 관여하는 효소와 함께 자세하게 설명되고 있었다. 특히 아미노산을 암호화하고 있는 염기의 서열인 코돈과, mRNA, tRNA, 리보솜 등이 함께 작용하는 번역, 즉 단백질 합성의 과정도 자세히 다루어지고 있다. 유전자의 발현 조절과 관련하여서는 원핵 생물과 진핵 생물의 조절 과정을 나누어 설명하고 있었다. 원핵 생물에 대해서는 젓당 오페론을 예로 들고 있었고 이와 관련하여 프로모터, 조절 유전자, 작동 유전자, 억제 단백질 등 다수의 새로운 개념들이 쓰이고 있었고, 진핵 세포의 유전자 발현 조절에 대한 설명에서도 인핸서, 조절 단백질, 전사 인자 등의 새로운 개념들이 사용되고 있었다(표 IV-114).

마지막으로 생물의 발생 과정에서 세포가 각각의 형태와 기능을 갖게 되는 세포의 분화에 대한 내용이 다루어지고 있었는데, 이 내용에서 하위의 여러 유전자의 발현을 한꺼번에 조절할 수 있는 최상위의 조절 유전자인 '핵심 조절 유전자' 개념이 설명되고 있고, 대표적인 핵심 조절 유전자로서 근육 세포의 분화에 관여하는 마이오디 유전자를 예로 들고 있었다. 또 초파리를 예로 들어 유전자의 발현 조절을 통해 기관의 형성도 조절될 수 있음이 설명되고 있었다.

개념 관계망 분석을 통해 고등학교 생명과학Ⅱ 교과서에서 나타난 연속성과 관련한 주요 관계는 DNA-단백질-유전자, 유전자-발현, DNA-mRNA-전사, DNA-염기, 세포-분화의 관계로 요약될 수 있었다(표 IV-114).

이상의 분석을 종합해 보면 생명과학Ⅱ 교과서에서는 생명의 연속성에 대한 내용 중 DNA의 유전 정보인 유전자가 발현되고 조절되는 과정에 특화된 내용이 자세하게 다루어지고 있음을 알 수 있다.



Note. 노드의 크기는 연결중심성에 비례, 음영은 고유도에 비례, 연결선의 굵기는 관계의 가중치(≥ 3)에 비례.

<그림 IV-29> '연속성'에 대한 초등학교 교과서의 개념 관계망

<표 IV-110> ‘연속성’에 대한 초등학교 과학 교과서 개념 관계망의 주요 관계

개념A	개념B	$F(\overline{AB})$	$F(A)$	$F(B)$	$P(\overline{AB})$	$P(\overline{BA})$	$S(A)$	$S(B)$	$S(\overline{AB})$
동물	한살이	17	49	41	0.35	0.41	0.48	1.00	0.89
동물	알	12	49	53	0.24	0.23	0.48	0.71	0.80
동물	새끼	11	49	23	0.22	0.48	0.48	0.74	0.73
알	애벌레	11	53	24	0.21	0.46	0.71	0.92	1.00
동물	암수	10	49	14	0.20	0.71	0.48	0.61	0.77
알	배추흰나비	9	53	35	0.17	0.26	0.71	1.00	1.00
생김새	배추흰나비	9	21	35	0.43	0.26	0.90	1.00	1.00
싹	씨	8	10	37	0.80	0.22	0.94	0.73	0.73
배추흰나비	한살이	7	35	41	0.20	0.17	1.00	1.00	1.00
알	땅	6	53	8	0.11	0.75	0.71	0.79	1.00
열매	씨	6	8	37	0.75	0.16	0.73	0.73	0.33
닭	병아리	5	9	8	0.56	0.62	0.29	1.00	1.00
동물	땅	5	49	8	0.10	0.62	0.48	0.79	0.25
애벌레	동물	5	24	9	0.21	0.56	0.92	1.00	1.00
생김새	암수	5	21	14	0.24	0.36	0.90	0.61	0.71
동물	몸	5	49	14	0.10	0.36	0.48	0.23	0.25
동물	물	5	49	17	0.10	0.29	0.48	0.25	0.22
배추흰나비	애벌레	5	35	24	0.14	0.21	1.00	0.92	1.00
식물	씨	5	19	37	0.26	0.14	0.46	0.73	0.31
곤충	한살이	5	13	41	0.38	0.12	0.43	1.00	0.50
개구리	알	5	12	53	0.42	0.09	0.43	0.71	0.56
식물	여러해살이풀	4	19	4	0.21	1.00	0.46	1.00	1.00
새끼	암컷	4	23	4	0.17	1.00	0.74	0.33	1.00
생장	여러해살이풀	4	13	4	0.31	1.00	0.33	1.00	1.00
새끼	암수	4	23	14	0.17	0.29	0.74	0.61	1.00
알	암수	4	53	14	0.08	0.29	0.71	0.61	1.00
배추흰나비	번데기	4	35	16	0.11	0.25	1.00	0.94	1.00
꽃	식물	4	20	19	0.20	0.21	0.73	0.46	0.17
동물	생김새	4	49	21	0.08	0.19	0.48	0.90	0.15
식물	한살이	4	19	41	0.21	0.10	0.46	1.00	0.18

$F(A)$: 개념 A를 포함하는 관계의 빈도, $F(B)$: 개념 B를 포함하는 관계의 빈도, $F(\overline{AB})$: \overline{AB} 관계의 빈도

$P(\overline{AB})$: A개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도, $P(\overline{BA})$: B개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도

$S(A)$: 개념 A의 고유도, $S(B)$: 개념 B의 고유도, $S(\overline{AB})$: \overline{AB} 관계의 고유도

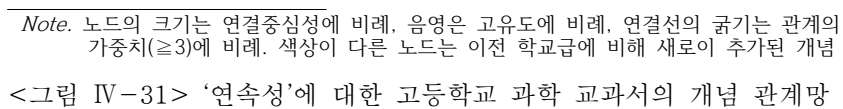
<표 IV-111> ‘연속성’에 대한 중학교 과학 교과서 개념 관계망의 주요 관계

개념A	개념B	$F(\overline{AB})$	$F(A)$	$F(B)$	$P(\overrightarrow{AB})$	$P(\overrightarrow{BA})$	$S(A)$	$S(B)$	$S(\overline{AB})$
난자	정자	41	49	52	0.84	0.79	0.56	0.59	0.58
염색체	상동 염색체	19	87	30	0.22	0.63	0.29	0.38	0.49
생물	세포	19	56	73	0.34	0.26	0.25	0.25	0.30
세포	염색체	19	73	87	0.26	0.22	0.25	0.29	0.46
세포	분열	16	73	25	0.22	0.64	0.25	0.30	0.36
염색체	딸세포	14	87	24	0.16	0.58	0.29	0.45	0.54
수정	정자	14	34	52	0.41	0.27	0.53	0.59	0.50
생물	염색체	14	56	87	0.25	0.16	0.25	0.29	0.70
수정	난자	13	34	49	0.38	0.27	0.53	0.56	0.46
사람	유전	13	73	50	0.18	0.26	0.28	0.37	0.54
사람	형질	13	73	64	0.18	0.20	0.28	0.35	0.52
유전자	염색체	13	46	87	0.28	0.15	0.18	0.29	0.21
생물	체세포 분열	12	56	44	0.21	0.27	0.25	0.64	0.80
유전	형질	12	50	64	0.24	0.19	0.37	0.35	0.39
태아	임신부	11	46	15	0.24	0.73	0.66	0.88	0.92
염색체	염색 분체	11	87	17	0.13	0.65	0.29	0.44	0.44
생물	무성 생식	11	56	23	0.20	0.48	0.25	0.66	1.00
염색체	체세포 분열	11	87	44	0.13	0.25	0.29	0.64	0.61
완두	잡종 2대	10	37	19	0.27	0.53	0.56	1.00	1.00
교배	잡종 1대	10	15	20	0.67	0.50	0.26	1.00	1.00
염색체	생식 세포 분열	10	87	32	0.11	0.31	0.29	1.00	0.91
멘델	완두	10	37	37	0.27	0.27	0.45	0.56	0.45
생장	체세포 분열	10	16	44	0.62	0.23	0.15	0.64	0.56
태아	모체	9	46	12	0.20	0.75	0.66	0.92	1.00
난자	수란관	9	49	15	0.18	0.60	0.56	1.00	1.00
표현형	유전자형	9	12	19	0.75	0.47	0.31	0.35	0.47
생물	유성 생식	9	56	21	0.16	0.43	0.25	0.49	0.64
멘델	대립 형질	9	37	23	0.24	0.39	0.45	0.62	0.64
생식 세포 분열	체세포 분열	9	32	44	0.28	0.20	1.00	0.64	0.90
자궁	착상	7	19	13	0.37	0.54	0.76	0.76	0.78

$F(A)$: 개념 A를 포함하는 관계의 빈도, $F(B)$: 개념 B를 포함하는 관계의 빈도, $F(\overline{AB})$: \overline{AB} 관계의 빈도

$P(\overline{AB})$: A개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도, $P(\overrightarrow{BA})$: B개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도

$S(A)$: 개념 A의 고유도, $S(B)$: 개념 B의 고유도, $S(\overline{AB})$: \overline{AB} 관계의 고유도



<표 IV-112> ‘연속성’에 대한 고등학교 과학 교과서 개념 관계망의 주요 관계

개념A	개념B	$F(\overline{AB})$	$F(A)$	$F(B)$	$P(\overline{AB})$	$P(\overline{BA})$	$S(A)$	$S(B)$	$S(\overline{AB})$
난자	정자	17	19	19	0.89	0.89	0.22	0.22	0.24
유전자	염색체	12	35	59	0.34	0.20	0.18	0.21	0.19
유전자	DNA	9	35	27	0.26	0.33	0.18	0.20	0.28
사람	염색체	9	24	59	0.38	0.15	0.15	0.21	0.35
유전자	형질	8	35	16	0.23	0.50	0.18	0.14	0.19
수정	난자	8	11	19	0.73	0.42	0.17	0.22	0.29
뉴클레오타이드	염기	7	10	10	0.70	0.70	0.46	0.27	0.47
염색체	상동 염색체	7	59	11	0.12	0.64	0.21	0.14	0.18
염색체	정자	7	59	19	0.12	0.37	0.21	0.22	0.78
염색체	난자	7	59	19	0.12	0.37	0.21	0.22	0.78
단백질	DNA	7	13	27	0.54	0.26	0.24	0.20	0.13
단백질	유전자	7	13	35	0.54	0.20	0.24	0.18	0.21
세포	염색체	7	17	59	0.41	0.12	0.12	0.21	0.17
염색체	46개	6	59	6	0.10	1.00	0.21	0.60	0.60
염색체	핵형	6	59	7	0.10	0.86	0.21	0.44	0.67
DNA	유전 정보	6	27	18	0.22	0.33	0.20	0.28	0.15
사람	정자	6	24	19	0.25	0.32	0.15	0.22	0.43
염색체	감수분열	6	59	20	0.10	0.30	0.21	0.34	0.29
아미노산	20종	5	7	5	0.71	1.00	0.34	1.00	0.71
사람	46개	5	24	6	0.21	0.83	0.15	0.60	0.56
생식 세포	자손	5	10	14	0.50	0.36	0.11	0.17	0.24
정자	감수분열	5	19	20	0.26	0.25	0.22	0.34	0.71
DNA	염색체	5	27	59	0.19	0.08	0.20	0.21	0.31
유성 생식	유전적 다양성	4	11	11	0.36	0.36	0.26	0.68	1.00
유전적 다양성	감수분열	4	11	20	0.36	0.20	0.68	0.34	1.00
A\$	T\$	4	4	4	1.00	1.00	0.31	0.36	0.36
G\$	C\$	4	4	4	1.00	1.00	0.33	0.36	0.33
암호화	20종	4	5	5	0.80	0.80	0.29	1.00	1.00
수정란	체세포 분열	4	8	5	0.50	0.80	0.17	0.07	0.80
염색체	교차	3	59	6	0.05	0.50	0.21	0.60	0.60

$F(A)$: 개념 A를 포함하는 관계의 빈도, $F(B)$: 개념 B를 포함하는 관계의 빈도, $F(\overline{AB})$: \overline{AB} 관계의 빈도

$P(\overline{AB})$: A개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도, $P(\overline{BA})$: B개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도

$S(A)$: 개념 A의 고유도, $S(B)$: 개념 B의 고유도, $S(\overline{AB})$: \overline{AB} 관계의 고유도

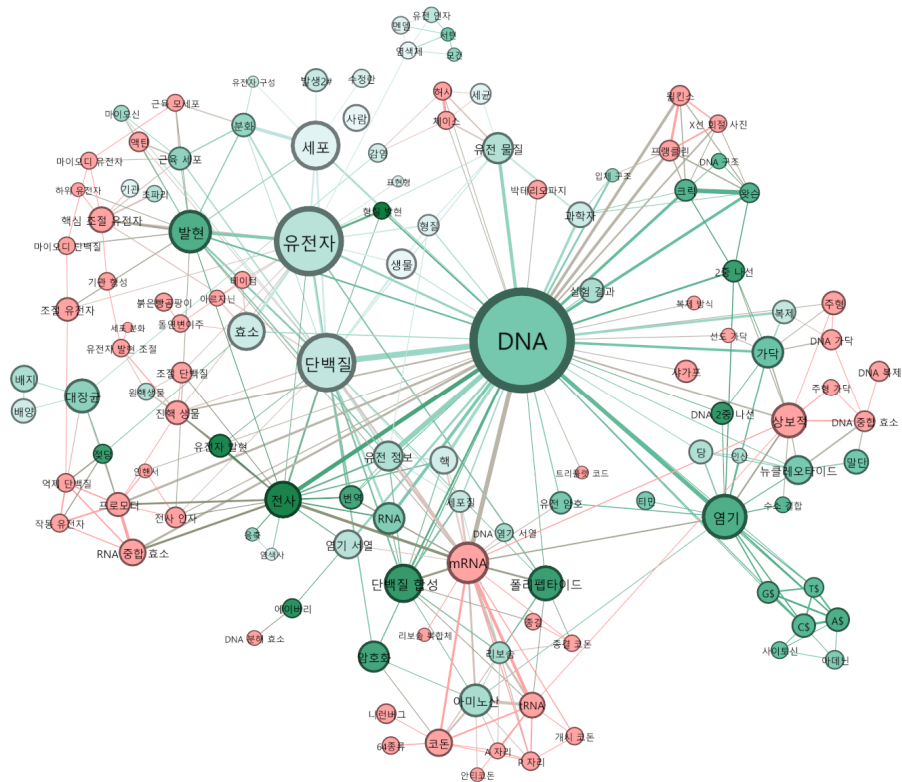
<표 IV-113> ‘연속성’에 대한 고등학교 생명과학 I 교과서 개념 관계망의 주요 관계

개념A	개념B	$F(\overline{AB})$	$F(A)$	$F(B)$	$P(\overline{AB})$	$P(\overline{BA})$	$S(A)$	$S(B)$	$S(\overline{AB})$
유전자	염색체	26	75	134	0.35	0.19	0.25	0.44	0.42
세포	분열	23	77	38	0.30	0.61	0.25	0.50	0.52
염색체	염색사	15	134	17	0.11	0.88	0.44	0.55	0.68
유전자	형질	14	75	55	0.19	0.25	0.25	0.28	0.33
복제	유전 물질	13	19	25	0.68	0.52	0.29	0.23	0.54
사람	유전자	13	76	75	0.17	0.17	0.31	0.25	0.37
세포	염색체	13	77	134	0.17	0.10	0.25	0.44	0.32
염색체	상동 염색체	12	134	36	0.09	0.33	0.44	0.46	0.31
유전	형질	12	56	55	0.21	0.22	0.44	0.28	0.39
사람	염색체	12	76	134	0.16	0.09	0.31	0.44	0.46
염색체	염색 분체	11	134	17	0.08	0.65	0.44	0.44	0.44
대립 유전자	형질	11	27	55	0.41	0.20	0.28	0.28	0.61
열성	우성	9	14	14	0.64	0.64	0.56	0.48	0.50
분열	암세포	9	38	17	0.24	0.53	0.50	0.32	0.75
간기	복제	9	14	19	0.64	0.47	0.61	0.29	0.75
상염색체	성염색체	9	12	21	0.75	0.43	0.60	0.62	0.75
표현형	유전자형	9	17	30	0.53	0.30	0.44	0.55	0.47
대립 유전자	상동 염색체	9	27	36	0.33	0.25	0.28	0.46	0.64
멘델	유전	9	32	56	0.28	0.16	0.40	0.44	0.53
유전자	연관	8	75	8	0.11	1.00	0.25	0.43	0.73
염색체	핵상	8	134	9	0.06	0.89	0.44	1.00	1.00
세포	세포 주기	8	77	16	0.10	0.50	0.25	1.00	1.00
유전자	DNA	7	75	18	0.09	0.39	0.25	0.10	0.22
동원체	방추사	6	8	20	0.75	0.30	0.89	0.65	1.00
GI기	S기	5	7	9	0.71	0.56	1.00	1.00	1.00
염색사	히스톤 단백질	4	17	4	0.24	1.00	0.55	1.00	1.00
염색체	연관	4	134	8	0.03	0.50	0.44	0.43	1.00
유전병	헌팅턴 무도병	3	15	4	0.20	0.75	0.71	1.00	1.00
역위	중복	3	4	4	0.75	0.75	0.80	0.67	0.75
사람	돌연변이	3	76	6	0.04	0.50	0.31	0.16	1.00

$F(A)$: 개념 A를 포함하는 관계의 빈도, $F(B)$: 개념 B를 포함하는 관계의 빈도, $F(\overline{AB})$: \overline{AB} 관계의 빈도

$P(\overline{AB})$: A개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도, $P(\overline{BA})$: B개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도

$S(A)$: 개념 A의 고유도, $S(B)$: 개념 B의 고유도, $S(\overline{AB})$: \overline{AB} 관계의 고유도



Note. 노드의 크기는 연결중심성에 비례, 음영은 고유도에 비례, 연결선의 굵기는 관계의 가중치(≥ 3)에 비례. 색상이 다른 노드는 이전 학교급에 비해 새로이 추가된 개념

<그림 IV-33> '연속성'에 대한 고등학교 생명과학II 교과서의 개념 관계망

<표 IV-114> ‘연속성’에 대한 고등학교 생명과학Ⅱ 교과서 개념 관계망의 주요 관계

개념A	개념B	$F(\overline{AB})$	$F(A)$	$F(B)$	$P(\overline{AB})$	$P(\overline{BA})$	$S(A)$	$S(B)$	$S(\overline{AB})$
단백질	DNA	21	49	131	0.43	0.16	0.49	0.70	0.39
DNA	유전 정보	18	131	22	0.14	0.82	0.70	0.38	0.44
크릭	왓슨	16	17	18	0.94	0.89	0.72	0.71	0.59
DNA	mRNA	16	131	40	0.12	0.40	0.70	1.00	0.94
DNA	염기	15	131	32	0.11	0.47	0.70	0.69	0.75
DNA	전사	15	131	33	0.11	0.45	0.70	0.95	0.88
세포	분화	12	35	17	0.34	0.71	0.37	0.72	0.44
유전자	발현	12	64	32	0.19	0.38	0.39	0.86	0.48
RNA 중합 효소	프로모터	11	15	18	0.73	0.61	1.00	1.00	1.00
mRNA	tRNA	11	40	18	0.28	0.61	1.00	1.00	1.00
DNA	RNA	11	131	19	0.08	0.58	0.70	0.68	0.38
핵	DNA	11	16	131	0.69	0.08	0.40	0.70	0.42
DNA	프랭클린	10	131	13	0.08	0.77	0.70	1.00	1.00
DNA	크릭	10	131	17	0.08	0.59	0.70	0.72	0.62
유전자	효소	10	64	23	0.16	0.43	0.39	0.90	1.00
mRNA	전사	10	40	33	0.25	0.30	1.00	0.95	1.00
리보솜	mRNA	10	13	40	0.77	0.25	0.86	1.00	0.91
단백질	유전자	10	49	64	0.20	0.16	0.49	0.39	0.30
DNA	복제	9	131	11	0.07	0.82	0.70	0.48	0.36
단백질	발현	9	49	32	0.18	0.28	0.49	0.86	0.90
유전 정보	mRNA	9	22	40	0.41	0.23	0.38	1.00	0.90
mRNA	코돈	8	40	15	0.20	0.53	1.00	1.00	1.00
DNA	RNA 중합 효소	8	131	15	0.06	0.53	0.70	1.00	1.00
DNA	프로모터	8	131	18	0.06	0.44	0.70	1.00	1.00
리보솜	tRNA	8	13	18	0.62	0.44	0.86	1.00	1.00
단백질	RNA	8	49	19	0.16	0.42	0.49	0.68	0.44
발현	핵심 조절 유전자	8	32	20	0.25	0.40	0.86	1.00	0.89
RNA 중합 효소	전사	8	15	33	0.53	0.24	1.00	0.95	1.00
아미노산	코돈	7	20	15	0.35	0.47	0.38	1.00	1.00
DNA	X선 회절 사진	6	131	6	0.05	1.00	0.70	1.00	1.00

$F(A)$: 개념 A를 포함하는 관계의 빈도, $F(B)$: 개념 B를 포함하는 관계의 빈도, $F(\overline{AB})$: \overline{AB} 관계의 빈도

$P(\overline{AB})$: A개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도, $P(\overline{BA})$: B개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도

$S(A)$: 개념 A의 고유도, $S(B)$: 개념 B의 고유도, $S(\overline{AB})$: \overline{AB} 관계의 고유도

(6) '연속성' 주제에 대한 학교급별 연계성

이상의 연속성 핵심 주제에 대한 학교급별 교과서의 개념 관계망 분석을 통해 알아본 수직적 연계성의 분석 결과는 <표 IV-115>와 같이 요약될 수 있다. 초등학교에서는 동물과 식물의 한살이를 중심으로

구체적이고 관찰 가능한 개념들을 주로 다루고 있고 생물의 생식, 발생, 유전의 개념이 명시적으로 쓰이지는 않았다(표 IV-110). 반면 중학교에서는 초등학교에 비하여 다루는 개념의 수도 크게 증가할 뿐만 아니라(표 IV-109) 초등학교에서는 전혀 다루지 않았던 수많은 개념들과 직접 관찰할 수 있는 현상이나 사물이 아닌 추상적인 개념이 처음으로 사용되고 있어 그 내용의 수준에서 격차를 보였다(그림 IV-30). 고등학교 과학과 생명과학 I에서는 이전 학교급에서 다루지 않았던 내용이 추가되어 단계적으로 심화됨으로써 계열성을 높여가는 발전적 연계성을 보였다. 또 새롭게 추가되는 내용의 학습을 위해 이전 학교급에서 다룬 내용이 다시 반복되는 계속성을 보이는 내용도 나타났다. 생명과학 II에서는 유전자 발현에 관련된 심화된 개념들이 새롭게 나타나고 있고, DNA의 유전 정보로부터 유전자가 발현되는 과정에 관련된 개념들과 관계들이 높은 고유도를 나타내고 있었다(표 IV-114). 이전 학교급까지는 생명의 연속성에 대한 내용이 세포 분열과 염색체의 이동을 중심으로 다루던 것에 비하여(표 IV-113, 표 IV-112), 생명의 연속성을 분자 수준에서 다룸으로써 내용의 수준이 비약적으로 심화되는 격차를 나타내었다.

생명의 연속성 주제에서는 유성생식과 세포 분열(감수분열)을 연결 지어 설명하는 내용이 중학교, 고등학교 과학, 생명과학 I에서 반복적으로 강조되고 계속성이 높은 내용으로 나타났다(표 IV-115).

<표 IV-115> ‘연속성’에 대한 학교급 교과서별 수직적 연계성

학교급	주요 내용 및 연계성
초등학교 과학	동물 : 암수의 생김새, 역할 / 알 - 애벌레 / 짝짓기 식물 : 꽃(수분), 씨, 열매
중학교 과학	[격차] 무성생식, 유성생식 [격차] 세포분열 : 체세포 분열, 생식세포분열 -> 염색체 -> 유전자 [격차] 사람의 생식, 발생 생식기관, 정자, 난자, 수정 -> 태아 [격차] 멘델의 유전 원리 : 형질, 대립형질, 유전자형 [격차] 사람의 유전 형질 / 가계도
고등학교 과학	[격차] 유전자 -> DNA 구조, 기능 / 염기 서열 [격차] 유전자 발현의 중심 원리 [반복] 유성생식 - 감수분열 [발전] 유전적 다양성(교차, 염색체 분리, 수정)
고등학교 생명과학 I	[반복] 유성생식 - 감수분열 / [반복] 멘델의 유전 원리 [반복] 염색체, DNA의 구조 [발전] 세포주기(G1, S, G2) - 암 [발전] 연관 유전 (초파리) [반복] 사람의 유전 형질 [격차] 사람의 돌연 변이 / 유전병 / 돌연변이, 변이
고등학교 생명과학 II	[반복] DNA 구조 / [격차] DNA 복제 [격차] 유전자 발현 : mRNA, tRNA, 코돈, 리보솜 / 프로모터, 조절 유전자, 작동 유전자 [격차] 원핵 생물 (젓당 오페론) / 진핵 생물 (인핸서)

5) ‘진화와 다양성’ 주제에 대한 학교급별 개념 관계망 및 연계성

현행 교육과정의 교과서에서 생명의 다양성과 다양성의 원동력인 진화에 대하여 어떻게 다루어지고 있는지를 관계망 분석을 통해 알아보았다. 고등학교 생명과학 I 교과서에서는 ‘생물 다양성’에 대한 내용이 상호작용을 중심으로 다루어지고 있어 상호작용 주제로 분류하여 분석하였다(표 III-6).

진화와 다양성에 대한 학교급별 관계망의 네트워크 특성은 <표 IV-116>과 같다. 진화와 다양성 주제에는 전체 5,073의 개념 중 36%에 달하는 1,800개의 개념이 관련되는 것으로 나타났고(표 IV-88), 이는 다른 주제의 관련 개념 수에 비해 매우 큰 수치이다. 따라서 학교급에 따라 사용된 개념의 비율이 낮게 나타난다 하더라도 이는 다른 주제들에 비해 더 많은 수의 개념을 나타내는 것이다. 이 주제와 관련한 학교급에 따른 학습량의 변화는 초등학교와 중학교, 고등학교 과학에서는 30%미만의 비율을 나타내다가 고등학교 생명과학Ⅱ에서 1,297개(70%)의 개념이 한꺼번에 교과서에 나타나는 급격한 증가를 보인 한편, 연결의 가중치의 평균은 생명과학Ⅱ에서 가장 낮은(1.35) 값을 나타내었다.

각 관계망의 시각화 결과는 <그림 IV-34>부터 <그림 IV-37>까지, 관계망의 주요 관계를 분석한 결과는 <표 IV-117>부터 <표 IV-120>까지 제시하였다.

<표 IV-116> ‘진화와 다양성’에 대한 학교급별 개념 관계망의 구조적 특성

학교급	개념 수(%)	연결 수	평균 연결정도	평균 연결 가중치	지름	밀도
초등학교 과학	410 (23)	2,112	10.3	1.53	7	0.025
중학교 과학	318 (18)	1,691	10.6	1.57	6	0.034
고등학교 과학	480 (27)	2,739	11.4	1.42	5	0.024
고등학교 생명과학Ⅱ	1,297 (73)	8,942	13.8	1.35	7	0.011
영역 전체	1,800 (100)	14,180	15.8	1.54	7	0.009

(1) 초등학교 과학 교과서에 포함된 '진화와 다양성'에 대한 개념 관계망

〈그림 IV-34〉는 초등학교 교과서에 포함된 '진화와 다양성' 관련 내용에 대한 개념 관계망이다. 초등학교에서는 생물의 다양성에 대하여 3-4학년 군에서 주로 다루어지고 있는 식물과 동물과 관련된 단원의 많은 내용들이 다양성과 관련되어 있었다. 생명의 연속성에 대한 내용을 주로 하는 동물의 한살이 단원에서는 여러 가지 동물의 한살이를 비교함으로써 생물의 따라 한살이가 다양함을 학습하게 되고, 동물의 생활 단원에서는 주변에서 관찰할 수 있는 다양한 동물과 다양한 서식지의 환경에 적응하여 살고 있는 생물의 특징과 생활 방식이 구체적인 종의 이름과 함께 소개되고 있었다. 식물에 대해서도 한살이 방법에 따라 식물을 분류하고, 다양한 식물의 이름과 함께 생김새를 관찰, 비교하여 분류하는 활동을 중심으로 다루고 있어 학생들이 생물의 다양성을 인식할 수 있도록 구성하고 있었다.

5-6학년군의 생물과 우리 생활 단원에서는 초등학교 3-4학년에서 다룬 다양한 식물과 동물 이외에 버섯과 곰팡이, 해캄, 쪼신벌레, 그리고 세균과 같은 다양한 생물이 있음을 설명하고 있었다(표 IV-117).

또, 5-6학년군에서는 생물과 환경 단원의 내용 일부에서 생물이 오랜 시간에 걸쳐 환경에 적응하면서 그 생김새나 행동 방식이 달라짐을 설명하고 있어 진화와 관련된 설명을 포함하고는 있으나 명시적으로 생물의 진화를 언급하고 있지는 않았다.

분석 결과 초등학교 교과서에 나타난 다양성에 대한 내용은 식물-생김새-동물, 식물-학교 주변, 동물-땅(서식처), 식물-잎-분류, 동물-생김새-생활 방식-분류, 생물-환경-적응의 주요 관계로 요약할 수 있었다. 이를 통해 초등학교 과정에서는 다양한 생물의 종류와 생활 방식을 알아봄으로써 생물의 다양성을 인식할 수 있도록 하는 내용이 생명의 다양성에 대한 주된 내용이었고, 다양성의 원인인 진화에 대해서는 거의 다루어지지 않음을 알 수 있다(표 IV-117).

(2) 중학교 과학 교과서에 포함된 ‘진화와 다양성’에 대한 개념 관계망

〈그림 IV-35〉는 중학교 교과서에 포함된 ‘진화와 다양성’ 관련 내용에 대한 개념 관계망이다. 중학교에서는 생명 영역의 마지막 단원인 과학3 교과서 유전과 진화 단원에서 생물의 진화와 다양성에 대한 내용을 다루고 있었다.

먼저 진화와 관련하여 화석, 다양한 종의 몸의 구조에서 나타나는 유사성, 생물의 지리적 분포의 차이, 유전자 연구의 결과 등을 증거로 들어 생물이 오랜 시간을 거쳐 진화하고 있음을 설명하고 있었다. 이러한 진화가 일어나는 원리와 관련해서는 획득 형질의 유전을 통한 진화를 주장한 라마르크의 용불용설이 지닌 오류, 다윈의 자연 선택설을 중심으로 설명하고 있었다. 또 자연 선택설과 함께 격리설과 돌연변이설도 함께 제시하여 현대에는 이들을 종합하여 진화의 원리가 설명되고 있음이 짧게 소개되고 있었다.

진화와 함께 진화의 결과로 나타난 다양한 생물의 분류에 대한 내용이 다양성에 대한 내용의 다른 한 부분으로서 중요하게 다루어지고 있었다. 다양한 생물을 분류하는 목적과 분류 기준의 필요성을 설명하고, 생물의 분류 단계(종-속-과-목-강-문-계)를 나타내는 개념, 계통수 등의 개념을 도입하고 있었다. 또 생물의 분류 체계가 과학의 발달과 함께 변해왔음을 설명하고, 5계 분류 체계(원핵생물계, 원생생물계, 식물계, 균계, 동물계)를 중심으로 각 생물계에 포함된 생물들의 종류와 특징을 다양한 생물들 예로 들어 설명하고 있었다(표 IV-118).

개념 관계망 분석을 통해 중학교 과학 교과서에서 나타난 생명의 다양성과 관련한 주요 관계는 생물-분류-종, 생물-진화-환경-적응, 생물-진화-화석-증거, 생물-분류 단계, 분류-5계 분류 체계, 다윈-자연선택설-진화 등의 관계로 요약할 수 있었다(표 IV-118).

(3) 고등학교 과학 교과서에 포함된 ‘진화와 다양성’에 대한 개념 관계망

〈그림 IV-36〉는 고등학교 과학 교과서에 포함된 ‘진화와 다양성’ 관련 내용에 대한 개념 관계망이다. 고등학교 과학교과서의 생명의 진화 단원에서는 생명의 탄생에 대한 화학적 진화에 대한 내용과 지구상에서 일어난 진화의 역사에 대한 내용이 다루어지고 있었다.

원시 지구에서 일어난 화학적 진화와 원시 세포의 생성을 통한 생명의 탄생에 대한 내용은 생명 현상의 다양성 보다는 모든 생물이 공유하는 특징, 즉 단일성(unity)을 진화로 설명하는 내용으로 볼 수 있을 것이다. 원시 지구의 환경에서 간단한 무기물로부터 유기물이 합성되고, 이 유기물들이 생명체가 가져야 할 기본 요소들을 갖추게 됨으로써 최초의 생명이 탄생하였고, 이 원시 생명체로부터 현재까지 생물적 진화가 거듭되어 왔음이 설명되고 있었다.

지구에서 일어난 진화의 역사와 관련해서는 광합성 세균인 남세균에 의한 대기 조성의 변화를 설명하는 내용, 화석과 지층의 연구를 통해 밝혀진 지질 시대별 지구의 환경과 생물의 특징에 대한 내용들이 다루어지고 있었다. 또 원핵 세포와 진핵 세포의 구조적 특징을 비교하여 진핵생물로의 진화를 원핵생물의 세포내 공생설로 설명하는 내용과 단세포 생물이 군체를 이루고 분업을 통해 다세포 생물로 진화한 과정을 설명하는 내용을 포함하고 있었다(표 IV-119).

마지막으로 생물학적 종의 분화와 진화의 원리에 대한 내용은 갈라파고스의 핀치에 대한 다윈의 진화론을 간단히 다루고 있어 화학적 진화나 진화의 역사에 대한 내용에 비해 강조되지는 않고 있었다.

개념 관계망 분석을 통해 고등학교 과학 교과서에서 나타난 생명의 다양성과 관련한 주요 관계는 원시 지구-무기물-유기물-단백질, 생명체-유기물-에너지, 원시 세포-진화, 진화-생물-화석, 지구-생물-환경 등의 관계로 요약할 수 있었다(표 IV-119).

(4) 고등학교 생명과학Ⅱ에 포함된 ‘진화와 다양성’에 대한 개념 관계망

〈그림 IV-37〉은 고등학교 생명과학Ⅱ 교과서에 포함된 ‘진화와 다양성’ 관련 내용에 대한 개념 관계망이다. 생명과학Ⅱ 교과서의 마지막 단원인 생물의 진화 단원에서는 생명의 기원과 다양성, 진화의 원리에 대한 내용이 다루어지고 있었다.

생명의 기원에 대해서는 고등학교 과학에서 다룬 화학 진화설에 대한 내용, 원시 생명체의 탄생 이후 지구의 환경 변화에 따른 원핵 생물의 진화에 대한 내용, 진핵 생물로의 진화를 세포 내 공생설로 설명하는 내용, 단세포 진핵생물이 다세포 진핵생물로 진화한 과정에 대한 내용도 다시 다루어지고 있었다. 생물 진화의 증거에 대해서는 중학교 교과서에서 이미 설명한 내용을 심화하여 화석, 비교해부학, 생물지리학, 진화발생학, 분자진화학의 연구 결과들을 예로 들어 제시되고 있었다. 생물 진화의 역사에 대한 내용에서는 고등학교 과학에서 ‘이언’과 ‘대’까지만 다룬 지질 시대를 ‘기’까지 좀 더 세분화하는 등 많은 개념들을 추가하여 지구 역사에서 일어난 진화의 과정을 심화하여 설명하고 있었고, 인류의 진화에 대해 그 증거와 역사를 다루는 내용이 추가로 포함되고 있었다.

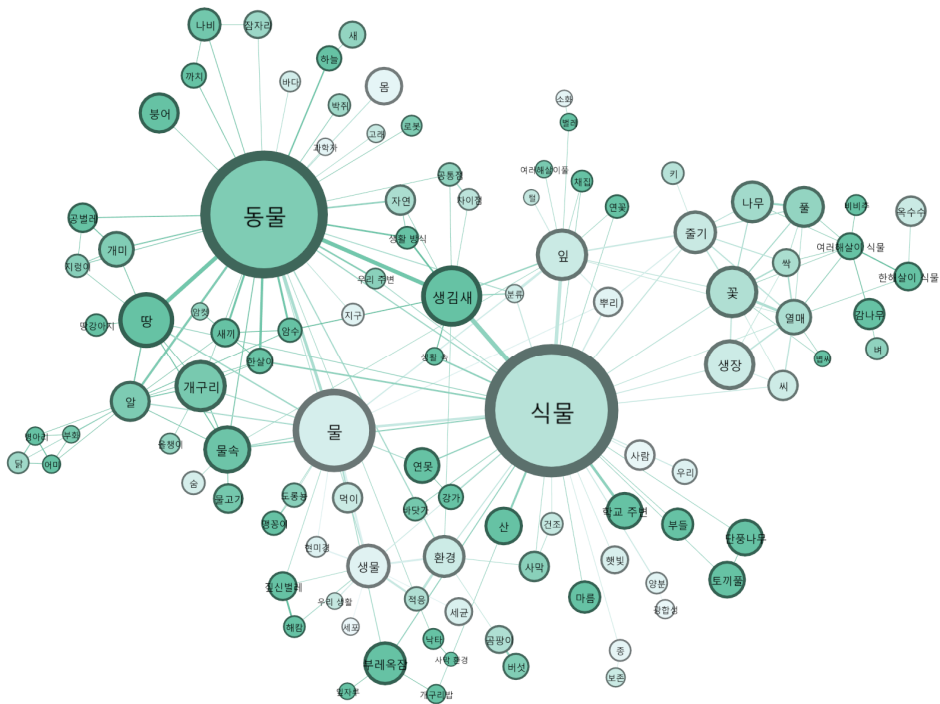
생물의 분류와 관련하여서는 생물학적 종의 개념과 중학교에서 다룬 분류 계급(분류 단계)과 계통수를 다시 다루고 있었고, 추가로 생물의 학명(이명법)에 대한 내용도 짧게 다루고 있었다. 생물의 분류체계와 관련하여서는 생물 분류 체계가 변화해온 과정을 다시 설명하고 중학교에서 다룬 5계 분류 체계 대신 3역 6계 분류 체계를 제시하고 있었다. 그리고 3역 6계 분류 체계에 따라 다양한 생물의 특징과 진화의 계통에 대해 자세히 설명하고 있었고, 이 내용에 수많은 새로운 개념들이 낮은 빈도로 쓰이고 있었다.

진화의 원리와 관련하여서는 다윈의 진화론과 함께 자연선택과 유전학을 기초로 돌연변이, 격리, 교잡 등을 종합하여 진화를 설명하는 현대 종합설에 대한 내용이 심화되어 제시되고 있었다. 현대 종합설은 자연선택은 개체에 작용하나 생물의 진화는 개체가 변하는 것이 아니라 개체군이 변한

다고 보는 것으로 집단 수준에서의 진화를 설명하는 진화의 중심 원리이다. 이러한 집단의 진화를 설명하기 위해 유전자 풀과 대립 유전자의 빈도, 유전적 평형, 하디-바인베르크 법칙, 유전적 부동, 돌연변이 등의 개념이 사용되고 있었다. 그리고 이러한 진화의 원리에 따라 일어나는 종의 분화에 대해서는 고등학교 과학에서 간략히 다루어진 내용을 심화하여 이소적 종 분화와 동소적 종 분화로 나누어 자세히 설명하고 있었고, 종 분화의 속도에 대한 이론인 점진론과 단속평형설에 대한 내용은 짧게 다루고 있었다.

생명과학Ⅱ 교과서에서는 진화와 생명의 다양성과 관련해 이전 학교급에서 다루어진 내용 대부분을 다시 심화하여 다루고 있었고, 1,300개에 달하는 개념을 포함하는 방대한 내용을 포함하고 있었다(표 IV-116).

개념 관계망 분석을 통해 나타난 고등학교 생명과학Ⅱ 교과서의 생명의 다양성 관련한 주요 관계는 생물-진화, 집단-대립 유전자-빈도, 집단-유전자 풀, 진화-자연 선택, 생물-분류, 집단-돌연변이, 종-종 분화, 인류-진화 등의 관계로 요약할 수 있었다(표 IV-120).



Note. 노드의 크기는 연결중심성에 비례, 음영은 고유도에 비례, 연결선의 굵기는 관계의 가중치(≥ 3)에 비례.

<그림 IV-34> '다양성'에 대한 초등학교 교과서의 개념 관계망

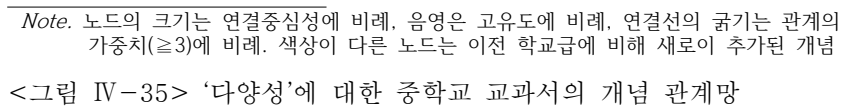
<표 IV-117> ‘다양성’에 대한 초등학교 과학 교과서 개념 관계망의 주요 관계

개념A	개념B	$F(\overline{AB})$	$F(A)$	$F(B)$	$P(\overline{AB})$	$P(\overline{BA})$	$S(A)$	$S(B)$	$S(\overline{AB})$
생김새	식물	22	57	121	0.39	0.18	0.90	0.46	0.79
동물	땅	20	144	31	0.14	0.65	0.48	0.79	1.00
동물	생김새	20	144	57	0.14	0.35	0.48	0.90	0.77
식물	잎	17	121	33	0.14	0.52	0.46	0.42	0.23
동물	물	14	144	48	0.10	0.29	0.48	0.25	0.61
식물	학교 주변	13	121	15	0.11	0.87	0.46	0.94	1.00
환경	적응	12	27	17	0.44	0.71	0.26	0.27	0.29
동물	한살이	12	144	28	0.08	0.43	0.48	1.00	0.63
물	식물	12	48	121	0.25	0.10	0.25	0.46	0.18
동물	알	11	144	31	0.08	0.35	0.48	0.71	0.73
곰팡이	버섯	10	16	12	0.62	0.83	0.49	0.57	0.50
나무	풀	10	18	13	0.56	0.77	0.38	0.62	0.59
동물	암수	10	144	14	0.07	0.71	0.48	0.61	0.77
생물	적응	10	40	17	0.25	0.59	0.18	0.27	0.29
동물	새끼	10	144	22	0.07	0.45	0.48	0.74	0.67
짚신벌레	해감	9	16	16	0.56	0.56	0.66	0.80	0.60
생물	환경	9	40	27	0.23	0.33	0.18	0.26	0.12
동물	생활 방식	8	144	9	0.06	0.89	0.48	1.00	0.80
동물	우리 주변	8	144	14	0.06	0.57	0.48	0.59	1.00
식물	한살이	8	121	28	0.07	0.29	0.46	1.00	0.36
분류	잎	8	15	33	0.53	0.24	0.14	0.42	1.00
생김새	잎	7	57	33	0.12	0.21	0.90	0.42	1.00
공통점	차이점	6	8	6	0.75	1.00	0.43	0.24	0.30
동물	개미	6	144	8	0.04	0.75	0.48	0.50	0.86
여러해살이 식물	한해살이 식물	6	11	9	0.55	0.67	1.00	1.00	1.00
식물	연못	6	121	10	0.05	0.60	0.46	0.71	1.00
동물	환경	6	144	27	0.04	0.22	0.48	0.26	0.55
분류	생김새	6	15	57	0.40	0.11	0.14	0.90	1.00
동물	환경	6	144	27	0.04	0.22	0.48	0.26	0.55
동물	분류	5	144	15	0.03	0.33	0.48	0.14	0.36

$F(A)$: 개념 A를 포함하는 관계의 빈도, $F(B)$: 개념 B를 포함하는 관계의 빈도, $F(\overline{AB})$: \overline{AB} 관계의 빈도

$P(\overline{AB})$: A개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도, $P(\overline{BA})$: B개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도

$S(A)$: 개념 A의 고유도, $S(B)$: 개념 B의 고유도, $S(\overline{AB})$: \overline{AB} 관계의 고유도



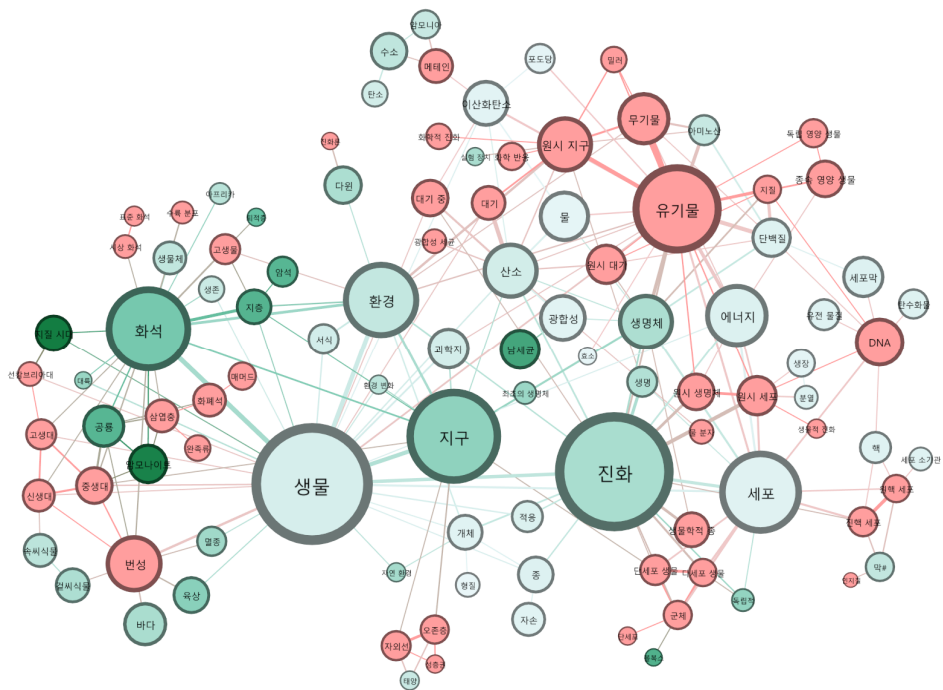
<표 IV-118> ‘다양성’에 대한 중학교 과학 교과서 개념 관계망의 주요 관계

개념A	개념B	$F(\overline{AB})$	$F(A)$	$F(B)$	$P(\overline{AB})$	$P(\overline{BA})$	$S(A)$	$S(B)$	$S(\overline{AB})$
분류	생물	45	58	138	0.78	0.33	0.46	0.25	0.62
생물	진화	31	138	59	0.22	0.53	0.25	0.25	0.45
생물	식물계	12	138	17	0.09	0.71	0.25	0.45	0.75
생물	동물계	12	138	18	0.09	0.67	0.25	0.46	0.75
생물	종	11	138	16	0.08	0.69	0.25	0.10	0.30
생물	화석	10	138	15	0.07	0.67	0.25	0.14	0.34
생물	균계	9	138	13	0.07	0.69	0.25	0.43	0.69
균계	식물계	9	13	17	0.69	0.53	0.43	0.45	0.41
분류	동물계	9	58	18	0.16	0.50	0.46	0.46	0.60
균계	동물계	9	13	18	0.69	0.50	0.43	0.46	0.41
세포	핵	8	13	11	0.62	0.73	0.25	0.31	0.14
분류	종	8	58	16	0.14	0.50	0.46	0.10	0.53
생물	5계	7	138	7	0.05	1.00	0.25	1.00	1.00
환경	적응	7	13	9	0.54	0.78	0.16	0.17	0.17
균계	원핵생물계	7	13	10	0.54	0.70	0.43	0.71	0.70
생물	원생생물계	7	138	10	0.05	0.70	0.25	0.38	0.70
진화	증거	7	59	12	0.12	0.58	0.25	0.32	0.47
생물	환경	7	138	13	0.05	0.54	0.25	0.16	0.09
분류	식물계	7	58	17	0.12	0.41	0.46	0.45	0.54
환경	진화	7	13	59	0.54	0.12	0.16	0.25	0.30
분류	5계	6	58	7	0.10	0.86	0.46	1.00	1.00
다윈	진화	6	8	59	0.75	0.10	0.14	0.25	0.32
분류	계\$	5	58	6	0.09	0.83	0.46	0.67	1.00
다윈	자연선택설	5	8	6	0.62	0.83	0.14	0.60	0.71
생물	조상	5	138	8	0.04	0.62	0.25	0.27	1.00
진화	격리	4	59	4	0.07	1.00	0.25	0.21	0.67
돌연변이	자연 선택	4	8	6	0.50	0.67	0.16	0.14	0.44
진화	화석	4	59	15	0.07	0.27	0.25	0.14	0.24
적응	진화	4	9	59	0.44	0.07	0.17	0.25	0.29
진화	용불용설	3	59	4	0.05	0.75	0.25	0.57	0.75

$F(A)$: 개념 A를 포함하는 관계의 빈도, $F(B)$: 개념 B를 포함하는 관계의 빈도, $F(\overline{AB})$: \overline{AB} 관계의 빈도

$P(\overline{AB})$: A개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도, $P(\overline{BA})$: B개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도

$S(A)$: 개념 A의 고유도, $S(B)$: 개념 B의 고유도, $S(\overline{AB})$: \overline{AB} 관계의 고유도



Note. 노드의 크기는 연결중심성에 비례, 음영은 고유도에 비례, 연결선의 굵기는 관계의 가중치(≥ 3)에 비례, 색상이 다른 노드는 이전 학교급에 비해 새로이 추가된 개념

<그림 IV-36> '다양성'에 대한 고등학교 과학 교과서의 개념 관계망

<표 IV-119> ‘다양성’에 대한 고등학교 과학 교과서 개념 관계망의 주요 관계

개념A	개념B	$F(\overline{AB})$	$F(A)$	$F(B)$	$P(\overline{AB})$	$P(\overline{BA})$	$S(A)$	$S(B)$	$S(\overline{AB})$
무기물	유기물	18	19	59	0.95	0.31	0.69	0.48	0.60
생물	화석	14	70	49	0.20	0.29	0.15	0.45	0.48
생물	환경	13	70	34	0.19	0.38	0.15	0.18	0.17
산소	대기	12	29	14	0.41	0.86	0.22	0.72	0.92
유기물	원시 지구	12	59	31	0.20	0.39	0.48	0.70	0.67
생물	지구	12	70	45	0.17	0.27	0.15	0.37	0.29
단백질	유기물	12	17	59	0.71	0.20	0.24	0.48	0.75
원시 세포	진화	11	23	61	0.48	0.18	0.80	0.29	1.00
원핵 세포	진핵 세포	10	18	20	0.56	0.50	0.55	0.49	0.48
아미노산	유기물	10	11	59	0.91	0.17	0.34	0.48	0.83
생명체	유기물	10	29	59	0.34	0.17	0.51	0.48	0.77
에너지	유기물	10	20	59	0.50	0.17	0.17	0.48	0.30
생물	진화	10	70	61	0.14	0.16	0.15	0.29	0.14
지층	화석	9	18	49	0.50	0.18	0.58	0.45	0.45
생명	진화	9	20	61	0.45	0.15	0.33	0.29	0.90
세포	진화	9	41	61	0.22	0.15	0.12	0.29	0.69
오존층	자외선	8	11	10	0.73	0.80	0.79	0.59	0.73
다세포 생물	단세포 생물	8	17	13	0.47	0.62	0.74	0.62	0.80
진화	생물학적 종	8	61	14	0.13	0.57	0.29	0.85	0.89
원시 생명체	원시 세포	8	18	23	0.44	0.35	0.86	0.80	1.00
환경	화석	8	34	49	0.24	0.16	0.18	0.45	1.00
원시 생명체	진화	8	18	61	0.44	0.13	0.86	0.29	0.80
환경	원시 지구	7	34	31	0.21	0.23	0.18	0.70	0.58
신생대	중생대	6	9	13	0.67	0.46	0.56	0.68	0.75
세포	진핵 세포	6	41	20	0.15	0.30	0.12	0.49	0.50
세포	원시 세포	6	41	23	0.15	0.26	0.12	0.80	0.86
산소	진화	5	29	61	0.17	0.08	0.22	0.29	1.00
산소	광합성 세균	4	29	4	0.14	1.00	0.22	0.44	0.80
시상 화석	표준 화석	4	6	5	0.67	0.80	0.86	0.83	0.80
선캄브리아대	지질 시대	4	8	19	0.50	0.21	0.73	0.90	1.00

$F(A)$: 개념 A를 포함하는 관계의 빈도, $F(B)$: 개념 B를 포함하는 관계의 빈도, $F(\overline{AB})$: \overline{AB} 관계의 빈도

$P(\overline{AB})$: A개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도, $P(\overline{BA})$: B개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도

$S(A)$: 개념 A의 고유도, $S(B)$: 개념 B의 고유도, $S(\overline{AB})$: \overline{AB} 관계의 고유도



Note. 노드의 크기는 연결중심성에 비례, 음영은 고유도에 비례, 연결선의 굵기는 관계의 가중치(≥ 3)에 비례, 색상이 다른 노드는 이전 학교급에 비해 새로이 추가된 개념

<그림 IV-37> '다양성'에 대한 고등학교 생명과학II 교과서의 개념 관계망

<표 IV-120> ‘다양성’에 대한 고등학교 생명과학Ⅱ 교과서 개념 관계망의 주요 관계

개념A	개념B	$F(\overline{AB})$	$F(A)$	$F(B)$	$P(\overline{AB})$	$P(\overline{BA})$	$S(A)$	$S(B)$	$S(\overline{AB})$
대립 유전자	집단	26	47	84	0.55	0.31	0.48	0.85	1.00
대립 유전자	빈도	24	47	33	0.51	0.73	0.48	0.88	0.96
개체	집단	21	45	84	0.47	0.25	0.29	0.85	0.84
분류	생물	19	44	114	0.43	0.17	0.33	0.20	0.26
집단	유전자 풀	18	84	24	0.21	0.75	0.85	1.00	0.75
생물	진화	18	114	112	0.16	0.16	0.20	0.44	0.26
동물계	식물계	17	21	21	0.81	0.81	0.54	0.55	0.59
빈도	세대	12	33	22	0.36	0.55	0.88	0.50	1.00
동물계	진핵생물역	11	21	19	0.52	0.58	0.54	1.00	1.00
식물계	진핵생물역	11	21	19	0.52	0.58	0.55	1.00	1.00
균계	진핵생물역	11	17	19	0.65	0.58	0.57	1.00	1.00
네안데르탈인	현생 인류	11	17	22	0.65	0.50	1.00	1.00	1.00
생물	유연관계	11	114	24	0.10	0.46	0.20	1.00	1.00
대립 유전자	유전자 풀	10	47	24	0.21	0.42	0.48	1.00	1.00
종	종 분화	10	58	34	0.17	0.29	0.39	1.00	1.00
자연 선택	진화	10	33	112	0.30	0.09	0.75	0.44	0.56
현생 인류	유럽	9	22	11	0.41	0.82	1.00	0.79	1.00
집단	격리	9	84	13	0.11	0.69	0.85	0.68	1.00
현생 인류	아시아	9	22	14	0.41	0.64	1.00	0.78	1.00
원생생물계	진핵생물역	9	16	19	0.56	0.47	0.62	1.00	1.00
아프리카	현생 인류	9	14	22	0.64	0.41	0.58	1.00	1.00
인류	화석	9	26	46	0.35	0.20	0.42	0.42	1.00
동물	배엽	8	62	12	0.13	0.67	0.24	1.00	1.00
현생 인류	조상	8	22	18	0.36	0.44	1.00	0.60	1.00
동물	계통수	8	62	22	0.13	0.36	0.24	0.88	1.00
돌연변이	집단	8	20	84	0.40	0.10	0.53	0.85	0.89
인류	진화	8	26	112	0.31	0.07	0.42	0.44	0.89
고세균역	세균역	7	9	9	0.78	0.78	1.00	1.00	1.00
개체군	진화	7	14	112	0.50	0.06	0.14	0.44	0.88
이소적 종 분화	동소적 종 분화	6	11	14	0.55	0.43	1.00	1.00	1.00

$F(A)$: 개념 A를 포함하는 관계의 빈도, $F(B)$: 개념 B를 포함하는 관계의 빈도, $F(\overline{AB})$: \overline{AB} 관계의 빈도

$P(\overline{AB})$: A개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도, $P(\overline{BA})$: B개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도

$S(A)$: 개념 A의 고유도, $S(B)$: 개념 B의 고유도, $S(\overline{AB})$: \overline{AB} 관계의 고유도

(5) ‘진화와 다양성’ 주제에 대한 학교급별 연계성

이상의 다양성 핵심 주제에 대한 학교급별 교과서의 개념 관계망 분석을 통해 알아본 수직적 연계성의 분석 결과는 <표 IV-121>과 같이 요약될 수 있다. 초등학교에서는 동물과 식물 개념을 중심으로 다양한 서식처에서 살아가고 있는 동식물의 구체적인 종류와 이름, 생김새의 관찰과 분류 등 활동을 중심으로 생물의 다양성에 대한 내용을 다루고, 분류체계나 분류 단계, 생물의 진화에 대한 개념을 명시적으로 도입하고 있지는 않았다(그림 IV-34, 표 IV-117). 중학교에서는 생물의 진화에 관련된 내용이 처음 도입되고, 생물의 분류와 관련하여서도 분류 단계와 5계 분류체계에 대한 내용이 처음 다루어지고 있어 수직적 연계성에서 격차를 나타내었다(그림 IV-35, 표 IV-118). 고등학교 과학에서는 유기물, 무기물 화학적 진화와 생명의 기원에 대한 내용이 중학교에서 다룬 내용과 격차를 보였고, 화석을 중심으로 지질 시대, 진화의 증거와 역사에 대한 내용이 발전적 연계성을 보였다(그림 IV-36). 생명과학Ⅱ에서는 고등학교 과학에서 다룬 원시 지구에서 일어난 화학적 진화와 원시 생명체의 진화에 대한 내용이 반복되고 있었다. 진화의 증거와 역사, 인류의 진화에 대한 내용, 생물의 분류와 관련한 3역 6계 분류 체계에 대한 내용은 이전 학교급에서 다룬 내용을 발전적으로 심화하고 있었다. 진화의 원리와 관련하여 현대 종합설을 중심으로 집단 내의 유전자 빈도의 변화로 개체군을 진화와 종의 분화를 설명하는 내용은 이전 학교급의 내용과 격차를 나타내었다(그림 IV-37, 표 IV-120).

진화와 다양성과 관련해서는 주제에서 나타난 개념의 수가 1,800개로 가장 많은 수로 조사되었다. 이는 다양성 주제에 대한 내용에 다양한 생물의 이름과 함께 분류 단계, 분류 체계, 지질 시대 등을 나타내는 수많은 개념들이 포함되고 있었기 때문이다. 또 생명과학Ⅱ 교과서에서는 이 주제와 관련하여 하위 학교급에서 다루어진 내용 대부분을 다시 반복하고 심화하여 다루고 있었기 때문에 1,300개(73%)에 달하는 개념을 포함하는 높은 학습량의 편중을 나타내었다(표 IV-116).

<표 IV-121> ‘진화와 다양성’에 대한 학교급 교과서별 수직적 연계성

학교급	주요 내용 및 연계성
초등학교 과학	식물과 동물의 생김새, 생활 방식, 한살이 방식의 다양성 ->분류 적응 : 다양한 환경(서식처)에 적응한 동물과 식물
중학교 과학	[격차] 진화의 증거: 화석, 몸의 구조, 지리적 분포, 유전자 연구 [격차] 진화의 원리: 용불용설의 오류 [격차] 다윈의 자연선택설, 돌연변이설(돌연변이, 변이), 격리설 [격차] 생물의 분류: 분류단계, 5계 분류체계
고등학교 과학	[격차] 화학적 진화 / 생명의 탄생 : 원시지구, 유기물, 무기물 [격차] 원시세포 / 원핵생물 -> 진핵생물 (세포공생설) / 단세포 -> 다세포생물 [발전] 광합성 세균 -> 원시 지구 환경 변화 [발전] 지질시대 / 화석 / 생물 진화의 역사
고등학교 생명과학Ⅱ	[반복] 화학적 진화 / 원시세포 / 원핵생물 -> 진핵생물 (세포공생설) / 단세포 -> 다세포생물 / 광합성 세균 -> 원시 지구 환경 변화 [발전] 진화의 증거 / 지질시대 / 진화의 역사 / 인류의 진화 [발전] 생물의 분류: 분류단계, 이명법, 3역 6계 분류체계 [발전] 진화의 원리: 현대 종합설 (자연선택, 돌연변이, 격리, 교잡) [격차] 개체군(집단)의 진화: 유전자 풀, 유전적 평형, 유전적 부동, 돌연변이 하디-바인베르크 법칙, [격차] 종 분화

6) ‘상호 작용’ 주제에 대한 학교급별 개념 관계망 및 연계성

생명의 중요한 특성인 상호작용에 대해 현행 교육과정의 교과서에서는 어떻게 다루고 있는지 분석하였다. 관련 내용을 포함하고 있지 않은 중학교 과학과 고등학교 생명과학Ⅱ 교과서를 제외한 학교급별 관계망의 네트워크 특성은 <표 IV-122>와 같다.

상호작용 주제의 내용에 생물학의 핵심 주제 중 생명의 특성에 대한 6가지 주제 중 가장 적은 수(922)의 개념이 포함되고 있었다(표 IV-88). 이 주제에 대한 학교급별 학습량의 변화는 중학교에서는 다루어지지 않고, 초등학교와 고등학교 과학에서는 25% 미만의 낮은 비율을 나타내다가 고등학교 생명과학Ⅱ에서 80%의 개념을 한꺼번에 사용하여 내용이 구성되고 있는 것으로 나타났다(표 IV-122).

각 관계망의 시각화 결과는 <그림 IV-38>부터 <그림 IV-40>까지, 주요 관계를 분석한 결과는 <표 IV-123>부터 <표 IV-125>까지 제시하였다. 관계망의 시각화 결과와 주요 관계 분석 결과를 교과서의 내용과 연결 지어 분석하고 이를 통해 학교급별 교과서에서 생명의 연속성에 대해 다루어지는 내용과 특징을 알아본 결과는 다음과 같다.

<표 IV-122> ‘상호작용’에 대한 학교급별 개념 관계망의 구조적 특성

학교급	개념 수(%)	연결 수	평균 연결정도	평균 연결 가중치	지름	밀도
초등학교 과학	210 (23)	887	8.4	1.50	6	0.040
고등학교 과학	219 (24)	1,176	10.7	1.14	7	0.049
고등학교 생명과학 I	733 (80)	4,628	12.6	1.34	7	0.017
영역 전체	922 (100)	6,338	13.7	1.40	7	0.015

(1) 초등학교 과학 교과서에 포함된 '상호 작용'에 대한 개념 관계망

〈그림 IV-38〉은 초등학교 교과서에 포함된 '생명의 상호작용' 관련 내용에 대한 개념 관계망이다. 초등학교에서는 생명이 상호작용하는 특성과 관련하여 5-6학년군의 생물과 환경 단원에서 다루어지고 있었다.

먼저 환경과 생태계의 개념을 도입하고, 생태계의 구성 요소를 생물과 비생물적 환경 요인으로 나누고, 생물은 다시 양분을 얻는 방법에 따라 생산자, 소비자, 분해자로 구분될 수 있음을 구체적인 예를 들어 설명하고 있었다. 생태계의 구성요소들 간의 상호 작용에 대한 내용도 다루어지고 있었는데 생물과 생물 사이의 상호 작용에 대해서는 먹이 사슬, 먹이 그물, 생태 피라미드를 구성하는 개념들을 설명하고 있었다. 경쟁, 공생, 기생과 같은 개념에 대해서는 읽기 자료로 포함되고 있어 강조되지는 않았다.

다음으로 비생물적 환경 요인이 생물에게 주는 영향을 설명하고, 이러한 환경에 생물이 오랜 시간에 걸쳐 다양하게 적응해 왔음을 설명함으로써 생명의 다양성에 대한 내용과 연계시키고 있었다. 또, 인간의 생활이 환경에 미치는 영향을 알아보고, 환경오염과 생태계 파괴로부터 생태계를 보전하고 복원할 필요성과 방법에 대한 내용이 포함되고 있었다.

초등학교 교과서에서 상호작용과 관련하여 나타난 주요 관계는 생물-환경-오염, 생물-우리 생활, 생물-생태계-복원, 생물-비생물적 환경 요인, 생물-생산자-분해자-소비자, 식물-양분-생물-동물 등의 관계로 요약할 수 있었다(표 IV-123).

(2) 고등학교 과학 교과서에 포함된 '상호 작용'에 대한 개념 관계망

〈그림 IV-39〉는 고등학교 과학 교과서에 포함된 '생명의 상호작용' 관련 내용에 대한 개념 관계망이다. 고등학교 과학에서는 생명 영역과 관련성이 있는 인류의 건강과 과학 기술 단원과 에너지와 환경 단원의 일부 소단원에서 상호 작용에 대하여 다루고 있었다. 교과서에서 적은 분량으로 다루

어지고 있는 만큼 포함된 개념의 수와 주요 관계의 강조 정도(연결 가중치, $F(\overline{AB})$)는 다른 학교급에 비하여 상대적으로 낮게 나타나고 있었다(표 IV-122, 표 IV-124).

생태계의 구성 요소에 대한 내용은 이미 초등학교에서 다룬 수준으로 다시 안내되고 있었고, 생태계에서 생물의 다양성이 지니는 가치에 대하여 설명하고 있었다. 그리고 지구계 내에서 탄소가 대기·토양 → 식물 → 동물 → 대기·토양을 통해 순환하는 탄소 순환 과정을 설명함으로써 생물과 환경의 상호 작용이 설명되고 있었다.

고등학교 과학에서 다루고 있는 상호 작용에 대한 내용은 생태계-생물, 생태계-생물 다양성 등의 주요 관계와 탄소 순환의 개념으로 요약할 수 있었다(표 IV-124).

(3) 고등학교 생명과학 I 교과서에 포함된 ‘상호 작용’에 대한 개념 관계망

〈그림 IV-40〉은 고등학교 과학 교과서에 포함된 ‘생명의 상호작용’ 관련 내용에 대한 개념 관계망이다. 생명과학Ⅱ의 자연 속의 인간 단원에서는 생태계의 구성과 기능과 함께 생물 다양성의 보전에 대한 내용이 다루어지고 있었다. 초등학교와 고등학교 과학에서 먼저 다루었던 생태계 개념을 다시 학습한 다음 생태계를 구성하는 비생물적 요인과 생물적 요인의 상호 작용을 여러 가지 예를 들어 자세히 설명하고 있었다. 그리고 같은 종의 개체들이 모인 개체군과 여러 개체군이 모여 이루는 군집의 특성, 개체 간, 개체군 간에서 일어나는 상호 작용에 대한 내용을 다루고 있었다.

먼저 개체군과 관련하여서는 밀도, 성장 곡선, 생존 곡선, 연령 피라미드 등과 관련된 다양한 개념이 새롭게 제시되어 내용을 구성하고 있었다(표 IV-125). 개체군이 계절의 변화나 피식과 포식 관계에 의해 주기적 변동한다는 것을 설명하는 내용과 개체군 내의 상호작용을 나타내는 텃새, 순위제의 개념 등도 학습 내용으로 제시되고 있었다.

군집과 관련하여서는 개체군들이 모여 이루는 군집의 구조와 종류와 관

련된 다양한 개념과 예들이 제시되고 있었다. 또 군집을 이루는 개체군의 상호작용을 나타내는 경쟁, 포식, 공생 등의 개념이 설명되었고, 시간에 따른 군집의 변화인 천이에 대한 내용도 관련된 여러 개념과 함께 포함되고 있었다(그림 IV-40).

물질 순환과 관련하여서는 고등학교 과학에서 다룬 탄소의 순환과 함께 질소의 순환에 대한 내용도 추가로 다루어지고 있었다. 그리고 생태계의 에너지 흐름과 평형에 대해서도 설명되고 있었다(표 IV-125).

생명과학 I에서는 생물 다양성의 개념을 종의 다양성뿐만 아니라 유전적 다양성, 생태계의 다양성 등을 총체적으로 포괄하는 넓은 의미의 다양성으로 보고 그 중요성과 가치에 대해 설명하는 내용도 포함하고 있었다.

살펴본 대로 생명과학 I 교과서에서 다루고 있는 상호작용에 대한 내용은 이전 학교급에서 다룬 모든 내용을 포괄할 뿐만 아니라 많은 개념을 심화하여 다루고 있었다. 개념 관계망 분석을 통해 고등학교 생명과학 I에서 다루는 상호 작용에 대한 내용은 생물-환경-생태계, 개체-개체군-군집, 개체군-상호 작용, 생물-생태계-에너지, 생태계-생물 다양성, 종-다양성 등의 주요 관계로 요약될 수 있었다(표 IV-125).

<표 IV-123> ‘상호작용’에 대한 초등학교 과학 교과서 개념 관계망의 주요 관계

개념A	개념B	$F(\overline{AB})$	$F(A)$	$F(B)$	$P(\overline{AB})$	$P(\overline{BA})$	$S(A)$	$S(B)$	$S(\overline{AB})$
생물	환경	19	95	30	0.20	0.63	0.18	0.26	0.24
생물	우리 생활	16	95	20	0.17	0.80	0.18	0.48	0.70
물	햇빛	12	20	16	0.60	0.75	0.25	0.18	0.40
생물	생태계	11	95	43	0.12	0.26	0.18	0.31	0.24
생물	비생물적 환경 요인	10	95	12	0.11	0.83	0.18	0.33	1.00
생태계	복원	9	43	10	0.21	0.90	0.31	0.73	0.90
생물	양분	9	95	17	0.09	0.53	0.18	0.30	0.64
생물	생산자	8	95	11	0.08	0.73	0.18	0.32	0.62
식물	양분	8	14	17	0.57	0.47	0.46	0.30	0.17
생물	분해자	6	95	8	0.06	0.75	0.18	0.26	0.67
환경	오염	6	30	9	0.20	0.67	0.26	0.19	0.60
조식벌레	해캄	5	5	6	1.00	0.83	0.66	0.80	0.33
생물	먹이 사슬	5	95	7	0.05	0.71	0.18	0.23	0.38
햇빛	온도	5	16	7	0.31	0.71	0.18	0.12	0.38
생물	소비자	5	95	8	0.05	0.62	0.18	0.32	0.62
생산자	소비자	5	11	8	0.45	0.62	0.32	0.32	0.25
햇빛	비생물적 환경 요인	5	16	12	0.31	0.42	0.18	0.33	1.00
동물	식물	5	8	14	0.62	0.36	0.48	0.46	0.09
생물	세균	5	95	24	0.05	0.21	0.18	0.21	0.29
사람	생태계	5	20	43	0.25	0.12	0.08	0.31	0.36
물	비생물적 환경 요인	4	20	12	0.20	0.33	0.25	0.33	1.00
동물	양분	4	8	17	0.50	0.24	0.48	0.30	0.33
생물	상호 작용	3	95	3	0.03	1.00	0.18	0.08	0.33
사람	자연 환경	3	20	5	0.15	0.60	0.08	0.47	1.00
생물	생태 피라미드	3	95	5	0.03	0.60	0.18	0.62	1.00
생물	사막	3	95	5	0.03	0.60	0.18	0.59	0.75
양분	소비자	3	17	8	0.18	0.38	0.30	0.32	1.00
생태계	분해자	3	43	8	0.07	0.38	0.31	0.26	0.33
양분	생산자	3	17	11	0.18	0.27	0.30	0.32	1.00
생태계	우리 생활	3	43	20	0.07	0.15	0.31	0.48	0.75

$F(A)$: 개념 A를 포함하는 관계의 빈도, $F(B)$: 개념 B를 포함하는 관계의 빈도, $F(\overline{AB})$: \overline{AB} 관계의 빈도

$P(\overline{AB})$: A개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도, $P(\overline{BA})$: B개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도

$S(A)$: 개념 A의 고유도, $S(B)$: 개념 B의 고유도, $S(\overline{AB})$: \overline{AB} 관계의 고유도

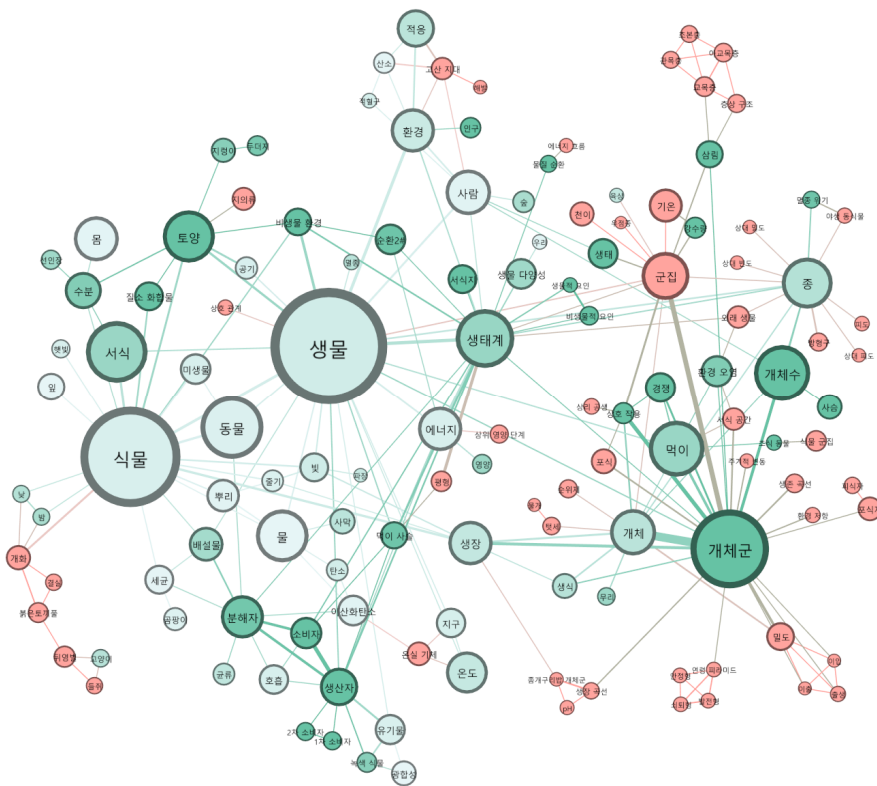
<표 IV-124> ‘상호작용’에 대한 고등학교 과학 교과서 개념 관계망의 주요 관계

개념A	개념B	$F(\overline{AB})$	$F(A)$	$F(B)$	$P(\overline{AB})$	$P(\overline{BA})$	$S(A)$	$S(B)$	$S(\overline{AB})$
생물	생태계	9	16	18	0.56	0.50	0.15	0.17	0.20
이산화탄소	대기 중	8	19	10	0.42	0.80	0.25	0.66	0.53
탄소	대기 중	6	11	10	0.55	0.60	0.66	0.66	0.86
다양성	종	5	9	8	0.56	0.62	0.33	0.14	0.36
이산화탄소	탄소	5	19	11	0.26	0.45	0.25	0.66	0.31
탄소	순환2#	4	11	7	0.36	0.57	0.66	0.47	0.40
생태계	종	4	18	8	0.22	0.50	0.17	0.14	0.29
생물 다양성	생태계	4	9	18	0.44	0.22	0.19	0.17	0.17
생태계	비생물적 환경	3	18	4	0.17	0.75	0.17	0.11	0.37
생물 다양성	식량 자원	3	9	4	0.33	0.75	0.19	0.86	0.50
생물	생존	3	16	4	0.19	0.75	0.15	0.33	0.25
광합성	호흡	3	3	4	1.00	0.75	0.18	0.08	0.14
이산화탄소	해양	3	19	5	0.16	0.60	0.25	0.29	1.00
이산화탄소	화석 연료	3	19	5	0.16	0.60	0.25	0.37	0.43
이산화탄소	순환2#	3	19	7	0.16	0.43	0.25	0.47	0.43
호흡	탄소 순환	3	4	8	0.75	0.38	0.08	1.00	1.00
이산화탄소	탄소 순환	3	19	8	0.16	0.38	0.25	1.00	1.00
광합성	탄소 순환	3	3	8	1.00	0.38	0.18	1.00	1.00
생물	종	3	16	8	0.19	0.38	0.15	0.14	0.08
다양성	생물	3	9	16	0.33	0.19	0.33	0.15	0.20
이산화탄소	석회암	2	19	2	0.11	1.00	0.25	1.00	1.00
소나무	재선충	2	2	2	1.00	1.00	0.13	1.00	1.00
석유	천연가스	2	2	2	1.00	1.00	0.21	0.75	1.00
이산화탄소	석회암	2	19	2	0.11	1.00	0.25	1.00	1.00
비생물적 환경	상호 작용	2	4	2	0.50	1.00	0.11	0.11	1.00
질병	기후 변화	2	4	2	0.50	1.00	0.36	0.14	1.00
생태계	상호 작용	2	18	2	0.11	1.00	0.17	0.11	0.40
이산화탄소	벌목	2	19	3	0.11	0.67	0.25	0.75	1.00
생태계	먹이 그물	2	18	2	0.11	1.00	0.17	0.11	0.40
재선충	숲	2	2	3	1.00	0.67	1.00	0.06	1.00

$F(A)$: 개념 A를 포함하는 관계의 빈도, $F(B)$: 개념 B를 포함하는 관계의 빈도, $F(\overline{AB})$: \overline{AB} 관계의 빈도

$P(\overline{AB})$: A개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도, $P(\overline{BA})$: B개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도

$S(A)$: 개념 A의 고유도, $S(B)$: 개념 B의 고유도, $S(\overline{AB})$: \overline{AB} 관계의 고유도



Note. 노드의 크기는 연결중심성에 비례, 음영은 고유도에 비례, 연결선의 굵기는 관계의
가중치(≥ 3)에 비례. 색상이 다른 노드는 이전 학교급에 비해 새로이 추가된 개념

<그림 IV-40> ‘상호작용’에 대한 고등학교 생명과학 I 교과서의 개념 관계망

<표 IV-125> ‘상호작용’에 대한 고등학교 생명과학 I 교과서 개념 관계망의 주요 관계

개념A	개념B	$F(\overline{AB})$	$F(A)$	$F(B)$	$P(\overline{AB})$	$P(\overline{BA})$	$S(A)$	$S(B)$	$S(\overline{AB})$
개체	개체군	26	39	86	0.67	0.30	0.32	0.85	0.74
생물	생태계	20	106	70	0.19	0.29	0.22	0.48	0.43
개체군	군집	15	86	40	0.17	0.38	0.85	1.00	0.88
생태계	평형	13	70	13	0.19	1.00	0.48	0.89	1.00
생산자	소비자	12	20	13	0.60	0.92	0.59	0.52	0.60
개체군	상호 작용	12	86	21	0.14	0.57	0.85	0.72	0.92
생물 다양성	생태계	12	40	70	0.30	0.17	0.57	0.48	0.50
생물	환경	10	106	30	0.09	0.33	0.22	0.21	0.13
에너지	생태계	10	26	70	0.38	0.14	0.33	0.48	0.91
생태계	먹이 사슬	9	70	20	0.13	0.45	0.48	0.67	0.82
개체군	개체수	9	86	33	0.10	0.27	0.85	0.87	1.00
생물	식물	9	106	49	0.08	0.18	0.22	0.11	0.38
생장	개체군	9	27	86	0.33	0.10	0.28	0.85	1.00
분해자	소비자	8	17	13	0.47	0.62	0.55	0.52	0.53
생물	종	8	106	46	0.08	0.17	0.22	0.33	0.22
밀도	개체군	8	12	86	0.67	0.09	0.92	0.85	0.89
배설물	분해자	7	10	17	0.70	0.41	0.42	0.55	0.78
다양성	종	7	9	46	0.78	0.15	0.26	0.33	0.50
생태계	종	7	70	46	0.10	0.15	0.48	0.33	0.50
개체군	경쟁	6	86	13	0.07	0.46	0.85	0.59	0.86
생물	먹이 사슬	6	106	20	0.06	0.30	0.22	0.67	0.46
군집	상호 작용	6	40	21	0.15	0.29	1.00	0.72	0.86
개체군	생존 곡선	5	86	9	0.06	0.56	0.85	1.00	0.83
개체군	포식	5	86	11	0.06	0.45	0.85	1.00	1.00
생태계	비생물 환경	5	70	20	0.07	0.45	0.48	0.56	0.63
교목층	아교목층	4	5	4	0.80	1.00	1.00	1.00	1.00
연령 피라미드	쇠퇴형	4	7	4	0.57	1.00	1.00	1.00	1.00
개체군	환경 저항	4	86	4	0.05	1.00	0.85	1.00	1.00
물질 순환	에너지 흐름	3	5	4	0.60	0.75	1.00	1.00	1.00
에너지	상위 영양 단계	3	26	6	0.12	0.50	0.33	1.00	1.00

$F(A)$: 개념 A를 포함하는 관계의 빈도, $F(B)$: 개념 B를 포함하는 관계의 빈도, $F(\overline{AB})$: \overline{AB} 관계의 빈도

$P(\overline{AB})$: A개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도, $P(\overline{BA})$: B개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도

$S(A)$: 개념 A의 고유도, $S(B)$: 개념 B의 고유도, $S(\overline{AB})$: \overline{AB} 관계의 고유도

(4) ‘상호작용’ 주제에 대한 학교급별 연계성

이상의 상호작용 핵심 주제에 대한 학교급별 교과서의 개념 관계망 분석을 통해 알아본 수직적 연계성의 분석 결과는 <표 IV-126>과 같이 요약될 수 있다.

생물의 상호작용에 주제는 관련 개념이 학교급별 교과서에 포함된 정도로 볼 때 초등학교와 고등학교 과학에 비하여 고등학교 생명과학 I에 학습내용이 현저하게 편중되고 있는 것으로 나타났다(표 IV-122). 이러한 편중의 원인은 중학교 교과서에는 상호 작용 주제에 대한 내용이 전혀 포함되고 있지 않았고, 고등학교 과학 교과서에서는 교육과정에서 생명 영역의 주요 단원으로 명시한 단원이 아닌 단원의 일부 소단원의 내용에서 부분적으로만 짧게 다루다가 생명과학 I에서 모든 내용을 심화하여 다루고 있었기 때문이었다. 특히 개체군, 군집 개념과 관련된 개념과 관계의 고유도가 높게 나타나고 있어(그림 IV-40, 표 IV-125) 해당 내용들이 이전 학교급의 내용과 격차를 보여 연계성이 낮은 것으로 나타났다.

<표 IV-126> ‘상호작용’에 대한 학교급 교과서별 연계성

학교급	주요 내용 및 연계성
초등학교 과학	생태계의 구성 요소 : 생물(생산자, 소비자, 분해자), 비생물적 환경요인 상호작용: 먹이사슬, 먹이그물, 생태 피라미드 생물 간의 상호작용 (경쟁, 공생, 기생) 환경 - 적응 / 환경오염 / 생태계 보전과 복원
고등학교 과학	[반복] 생태계 구성 요소 [격차] 물질 순환 : 탄소 순환 <- 광합성 [발전] 생물 다양성의 의의
고등학교 생명과학 I	[발전] 생태계 구성 요소 [격차] 개체군 - 밀도, 생장 곡선, 생존 곡선, 연령 피라미드 [격차] 군집 - 군집의 구조, 종류 [발전] 개체군 상호작용 (경쟁, 포식, 공생) [격차] 천이 [발전] 물질 순환: 탄소 순환, 질소 순환, 에너지 흐름 [반복] 생물 다양성의 중요성

7) ‘생명공학’ 주제에 대한 학교급별 개념 관계망 및 연계성

본 연구에서는 생명의 6가지 특성에 대한 핵심 주제와 함께 생명공학 기술에 대한 내용과 첨단 생명 과학이 인간의 생활에 미치는 영향에 대한 내용을 별도의 주제로 다루어 분석하였다. 이와 관련한 내용이 현행 교육과정의 교과서에서 어떻게 다루어지고 있는지를 알아보기 위하여 관련 내용을 포함하고 있지 않은 고등학교 생명과학 I 을 제외한 네 학교급의 교과서를 분석하였고, 그 관계망의 네트워크 특성은 <표 IV-127>과 같다.

이 주제에 대한 학교급별 학습량의 변화는 초등학교와 중학교에서는 10% 미만의 낮은 개념 포함율을 보였고, 고등학교 과학과 생명과학Ⅱ 교과서에서 각각 62%와 56%의 개념을 사용하여 관련 내용이 다루어지고 있는 것으로 나타났다(표 IV-127).

각 관계망의 시각화 결과는 <그림 IV-41>부터 <그림 IV-44>까지, 주요 관계를 분석한 결과는 <표 IV-128>부터 <표 IV-131>까지 제시하였다. 관계망의 시각화 결과와 주요 관계 분석 결과를 교과서의 내용과 연결 지어 분석하고 이를 통해 학교급별 교과서에서 생명공학 기술 주제에 대해 다루어지는 내용과 특징을 알아본 결과는 다음과 같다.

<표 IV-127> ‘생명공학’에 대한 학교급별 개념 관계망의 구조적 특성

학교급	개념 수(%)	연결 수	평균 연결정도	평균 연결 가중치	지름	밀도
초등학교 과학	27 (3)	71	5.3	1.14	4	0.202
중학교 과학	76 (8)	159	4.2	1.13	6	0.056
고등학교 과학	660 (62)	3,244	9.8	1.24	7	0.015
고등학교 생명과학Ⅱ	594 (56)	3,368	11.3	1.22	7	0.019
영역 전체	1,076 (100)	6,545	12.2	1.26	7	0.011

(1) 초등학교와 중학교 과학 교과서에 포함된 ‘생명공학’에 대한 개념 관계망

〈그림 IV-41〉과 〈그림 IV-42〉는 각각 초등학교와 중학교 과학 교과서에 포함된 ‘생명 공학과 생명 과학 기술’ 관련 내용에 대한 개념 관계망이다.

초등학교와 중학교에서는 생명 공학과 첨단 생명 과학 기술에 대한 내용이 별도의 단원을 형성하지는 않았고, 초등학교 5-6학년군의 생물과 우리 생활 단원, 중학교 과학3의 통합 단원인 과학과 인류 문명 단원의 일부 내용으로 짧게 다루어지고 있었다. 따라서 포함하고 있는 개념의 비율이 매우 낮을 뿐만 아니라 그 내용도 생명공학 기술 자체에 대한 내용보다는 생명과학 기술을 인간 생활에 이용하는 사례를 들어 그 유용성에 대해 설명하는 수준에서만 다루고 있었다(표 IV-128, 표 IV-129). 초등학교와 중학교 교과에서 주로 들고 있는 생명 공학과 생명 과학 기술 관련 사례로는 생명 과학 기술을 이용한 질병의 예방과 치료, 해충의 퇴치, 환경오염의 예방 등이 주로 언급되고 있었다(그림 IV-41, 그림 IV-42). 중학교 교과서의 경우 2007 개정 교육과정에서 ‘생명과학과 인간의 미래’에서 다루던 첨단 생명과학의 내용이 통합 단원인 ‘과학과 인류문명’의 통합 단원으로 이동하여 다른 과학의 분야의 내용과 함께 소개되고 있었고, 초등학교 교과서에서 역시 소단원 수준에서 관련 내용이 짧게 다루어지고 있었기 때문에 해당 단원에서 생명 과학과 관련 내용의 분량은 사용된 개념의 수가 80개미만으로 많지 않았다(표 IV-127).

(2) 고등학교 과학 교과서에 포함된 ‘생명공학’에 대한 개념 관계망

〈그림 IV-43〉은 고등학교 과학 교과서에 포함된 ‘생명 공학과 생명 과학 기술’ 관련 내용에 대한 개념 관계망이다. 고등학교 과학 교과서에서는 인류의 건강과 과학 기술 단원의 식량 자원, 첨단 과학과 질병 치료 중단원에서 다루어지는 내용의 일부가 생명 과학 기술과 관련된 내용으로 볼 수 있었다. 하지만 〈그림 IV-44〉에서 볼 수 있듯이 주로 암과 같은 질병

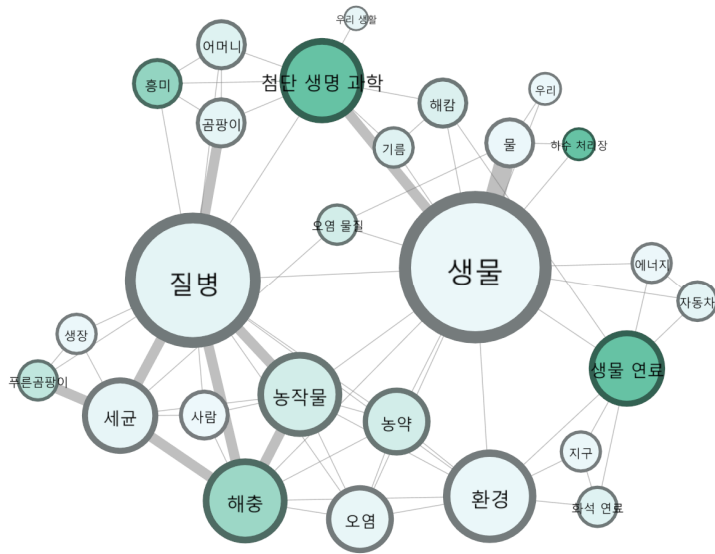
의 진단 기술에 대한 내용이 다루어지고 있었고, 과학 기술을 이용한 건강의 관리와 관련된 내용이었다. 이는 초등학교와 중학교 교과서에서와 마찬가지로 생명공학 기술 자체에 대한 내용이기 보다는 과학 기술의 응용 사례와 관련된 것이었다. 따라서 <표 IV-127>에서는 고등학교 과학에 생명공학과 생명 과학 기술에 대한 개념이 가장 많이(62%) 포함되고 있는 것으로 나타나기는 하나 포함된 개념들 중 상당수의 개념이 생명 과학 기술 보다는 질병의 진단 기술에 가까운 개념들이었다(표 IV-130).

(3) 고등학교 생명과학Ⅱ 교과서에 포함된 ‘생명공학’에 대한 개념 관계망

<그림 IV-44>는 고등학교 과학 교과서에 포함된 ‘생명 공학과 생명 과학 기술’ 관련 내용에 대한 개념 관계망이다. 고등학교 생명과학Ⅱ 교과서 유전자와 생명 공학 단원의 생명 공학 중단원에서 관련 내용이 다루어지고 있었다. 생명과학Ⅱ에서는 이전 학교급 교과서에서와는 달리 생명공학 기술 자체에 대한 내용이 주 내용 있었다. 이 단원에서 다루어지는 많은 내용들이 생명과학Ⅱ에서 처음 나타나거나 고유도($s(A)$, $s(B)$, $s(\overline{AB})$)가 높은 개념과 관계들로 나타나고 있어 생명공학 기술 자체에 대한 내용이 생명과학Ⅱ에서만 다루어지는 경향이 높음을 알 수 있다(표 IV-131).

한편, 생명과학Ⅱ에 포함되고 있는 생명공학 기술 관련 개념들은 그 수가 600개에 달할 만큼 많았으나 개념들 사이의 관계가 반복된 정도는 1.22로 낮은 편이어서 해당 내용이 핵심적인 내용을 강조하여 제시하기 보다는 나열식으로 여러 가지 생명공학 기술을 소개하는 데 그치고 있음을 알 수 있다(표 IV-127).

생명과학Ⅱ 교과서에 포함된 생명 공학과 관련 내용의 주요 관계는 DNA-제한 효소-염기 서열, 재조합 DNA-대장균-플라스미드, DNA-제한 효소-염기 서열, 줄기세포-배아, B 림프구-항체, 유전자-삽입 등의 관계로 요약할 수 있었다(표 IV-131).



Note. 노드의 크기는 연결중심성에 비례, 음영은 고유도에 비례, 연결선의 굵기는 관계의 가중치(≥ 1)에 비례.

<그림 IV-41> ‘생명공학’에 대한 초등학교 교과서의 개념 관계망

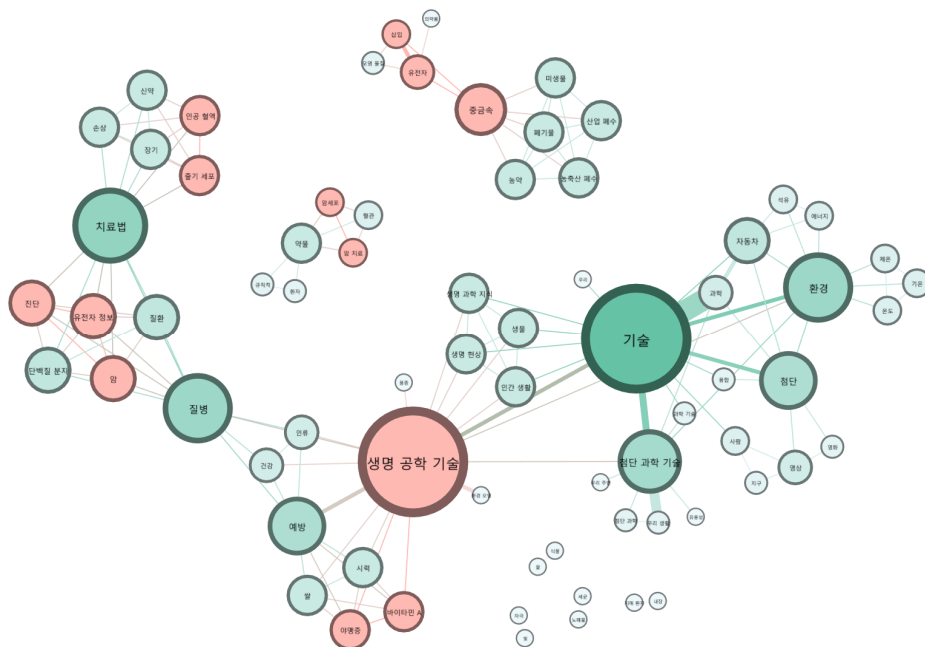
<표 IV-128> ‘생명공학’에 대한 초등학교 과학 교과서 개념 관계망의 주요 관계

개념A	개념B	$F(\overline{AB})$	$F(A)$	$F(B)$	$P(\overline{AB})$	$P(\overline{BA})$	$S(A)$	$S(B)$	$S(\overline{AB})$
물	생물	3	3	7	1.00	0.43	0.25	0.18	0.09
질병	곰팡이	2	6	2	0.33	1.00	0.10	0.49	0.33
세균	푸른곰팡이	2	5	2	0.40	1.00	0.21	0.14	0.29
세균	해충	2	5	3	0.40	0.67	0.21	0.50	1.00
농작물	해충	2	2	3	1.00	0.67	0.10	0.50	1.00
질병	해충	2	6	3	0.33	0.67	0.10	0.50	0.67
생물	첨단 생명 과학	2	7	6	0.29	0.33	0.18	1.00	0.67
농작물	질병	2	2	6	1.00	0.33	0.10	0.10	0.50
세균	질병	2	5	6	0.40	0.33	0.21	0.10	0.09
농작물	오염	1	2	1	0.50	1.00	0.10	0.19	1.00
물	하수 처리장	1	3	1	0.33	1.00	0.25	1.00	1.00
생물	하수 처리장	1	7	1	0.14	1.00	0.18	1.00	1.00
생물 연료	에너지	1	3	1	0.33	1.00	1.00	0.01	1.00
생물 연료	지구	1	3	1	0.33	1.00	1.00	0.12	1.00
생물 연료	화석 연료	1	3	1	0.33	1.00	1.00	0.05	1.00
생물 연료	자동차	1	3	1	0.33	1.00	1.00	0.20	1.00
농약	오염	1	1	1	1.00	1.00	0.18	0.19	0.50
에너지	자동차	1	1	1	1.00	1.00	0.01	0.20	0.33
지구	화석 연료	1	1	1	1.00	1.00	0.12	0.05	0.33
생물	오염	1	7	1	0.14	1.00	0.18	0.19	0.20
농작물	사람	1	2	1	0.50	1.00	0.10	0.08	0.20
질병	오염	1	6	1	0.17	1.00	0.10	0.19	0.12
물	우리	1	3	1	0.33	1.00	0.25	0.22	0.11
생물	에너지	1	7	1	0.14	1.00	0.18	0.01	0.06
생물 연료	해감	1	3	2	0.33	0.50	1.00	0.80	1.00
생물 연료	환경	1	3	2	0.33	0.50	1.00	0.26	1.00
농약	농작물	1	1	2	1.00	0.50	0.18	0.10	1.00
농약	환경	1	1	2	1.00	0.50	0.18	0.26	1.00
화석 연료	환경	1	1	2	1.00	0.50	0.05	0.26	1.00
질병	푸른곰팡이	1	6	2	0.17	0.50	0.10	0.14	0.50

$F(A)$: 개념 A를 포함하는 관계의 빈도, $F(B)$: 개념 B를 포함하는 관계의 빈도, $F(\overline{AB})$: \overline{AB} 관계의 빈도

$P(\overline{AB})$: A개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도, $P(\overline{BA})$: B개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도

$S(A)$: 개념 A의 고유도, $S(B)$: 개념 B의 고유도, $S(\overline{AB})$: \overline{AB} 관계의 고유도



Note. 노드의 크기는 연결중심성에 비례, 음영은 고유도에 비례, 연결선의 굵기는 관계의 가중치(≥ 1)에 비례, 색상이 다른 노드는 이전 학교급에 비해 새로이 추가된 개념

<그림 IV-42> ‘생명공학’에 대한 중학교 교과서의 개념 관계망

<표 IV-129> ‘생명공학’에 대한 중학교 과학 교과서 개념 관계망의 주요 관계

개념A	개념B	$F(\overline{AB})$	$F(A)$	$F(B)$	$P(\overline{AB})$	$P(\overline{BA})$	$S(A)$	$S(B)$	$S(\overline{AB})$
과학	기술	10	17	43	0.59	0.23	0.79	0.62	0.56
기술	미래 생활	5	43	7	0.12	0.71	0.62	1.00	0.83
기술	생명 공학 기술	5	43	12	0.12	0.42	0.62	0.29	1.00
삶	인류	4	4	8	1.00	0.50	0.45	0.28	0.80
과학 기술	인류	4	22	8	0.18	0.50	0.82	0.28	0.67
첨단 과학 기술	우리 생활	4	12	9	0.33	0.44	0.93	0.38	1.00
에너지원	메테인	3	5	6	0.60	0.50	0.36	0.32	1.00
환경 오염	생명 공학 기술	3	3	12	1.00	0.25	0.11	0.29	1.00
과학 기술	환경	3	22	13	0.14	0.23	0.82	0.16	1.00
융합	기술	3	4	43	0.75	0.07	0.24	0.62	0.50
에너지	지구 온난화	2	7	2	0.29	1.00	0.12	0.11	1.00
지구 온난화	기후 변화	2	2	2	1.00	1.00	0.11	0.14	0.67
환경	첨단 과학	2	13	3	0.15	0.67	0.16	0.43	1.00
과학 기술	우리	2	22	4	0.09	0.50	0.82	0.30	1.00
과학	융합	2	17	4	0.12	0.50	0.79	0.24	0.40
건강	인류	2	3	8	0.67	0.25	0.15	0.28	0.20
첨단 과학	우리 생활	2	3	9	0.67	0.22	0.43	0.38	0.67
예방	생명 공학 기술	2	4	12	0.50	0.17	0.16	0.29	0.67
인류	생명 공학 기술	2	8	12	0.25	0.17	0.28	0.29	0.67
생명 공학 기술	나노 기술	1	12	1	0.08	1.00	0.29	1.00	1.00
우리 생활	로봇	1	9	1	0.11	1.00	0.38	0.38	1.00
기술	인플루엔자	1	43	1	0.02	1.00	0.62	1.00	1.00
기술	나노 기술	1	43	1	0.02	1.00	0.62	1.00	1.00
야맹증	비타민 A	1	1	1	1.00	1.00	0.50	0.57	1.00
야맹증	시력	1	1	1	1.00	1.00	0.50	0.25	1.00
암	바이오칩	1	1	1	1.00	1.00	0.01	1.00	1.00
인공 혈액	줄기 세포	1	1	1	1.00	1.00	1.00	0.24	1.00
쌀	야맹증	1	2	1	0.50	1.00	0.17	0.50	1.00
생물	생명 과학 지식	1	1	1	1.00	1.00	0.25	0.14	1.00
기후 변화	생명 윤리	1	2	1	0.50	1.00	0.14	0.14	1.00

$F(A)$: 개념 A를 포함하는 관계의 빈도, $F(B)$: 개념 B를 포함하는 관계의 빈도, $F(\overline{AB})$: \overline{AB} 관계의 빈도

$P(\overline{AB})$: A개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도, $P(\overline{BA})$: B개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도

$S(A)$: 개념 A의 고유도, $S(B)$: 개념 B의 고유도, $S(\overline{AB})$: \overline{AB} 관계의 고유도

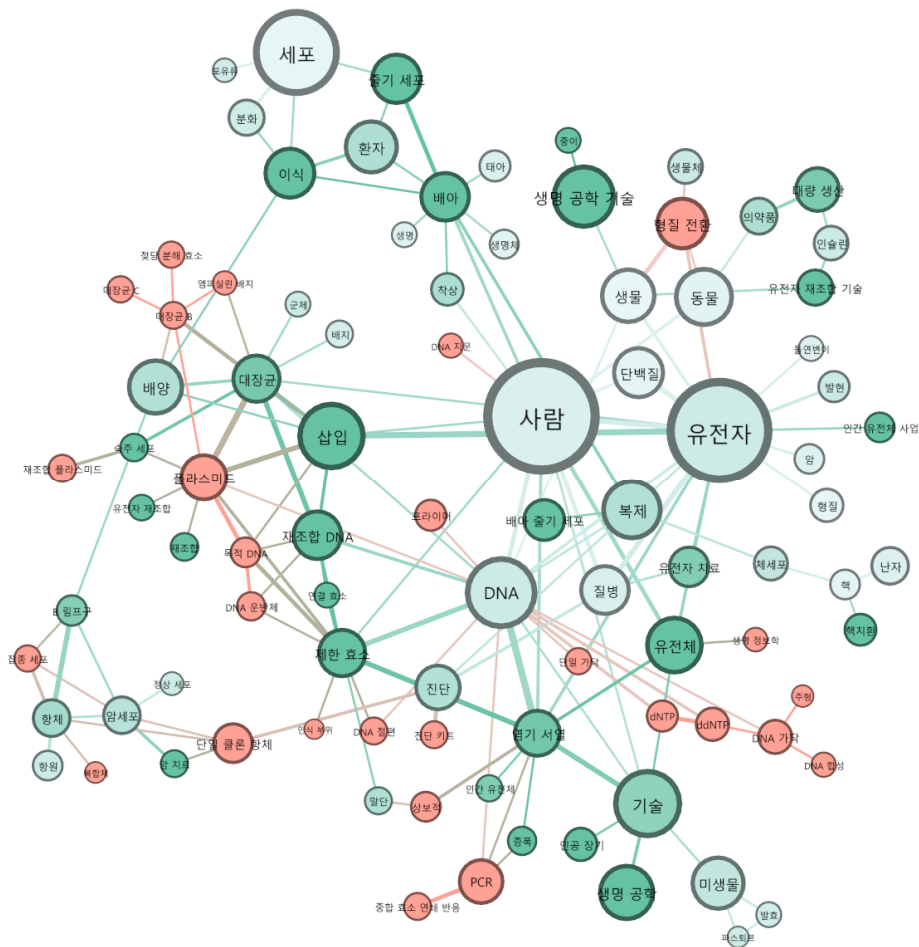
<표 IV-130> ‘생명공학’에 대한 고등학교 과학 교과서 개념 관계망의 주요 관계

개념A	개념B	$F(\overline{AB})$	$F(A)$	$F(B)$	$P(\overline{AB})$	$P(\overline{BA})$	$S(A)$	$S(B)$	$S(\overline{AB})$
암	진단	15	72	35	0.21	0.43	0.85	0.55	0.75
질병	진단	11	37	35	0.30	0.31	0.36	0.55	0.52
암세포	정상 세포	10	22	13	0.45	0.77	0.39	0.50	0.50
CT	MRI	10	23	17	0.43	0.59	1.00	0.89	1.00
MRI	PET	7	17	14	0.41	0.50	0.89	1.00	1.00
압력	압박대	6	9	6	0.67	1.00	0.39	1.00	1.00
질병	예방	6	37	7	0.16	0.86	0.36	0.20	0.24
육종	품종	6	21	17	0.29	0.35	1.00	0.77	0.75
CT	진단	6	23	35	0.26	0.17	1.00	0.55	1.00
내시경	진단	6	14	35	0.43	0.17	1.00	0.55	0.86
진단	물리적 진단	5	35	5	0.14	1.00	0.55	1.00	1.00
CT	X선 촬영	5	23	7	0.22	0.71	1.00	0.78	1.00
암	항암제	5	72	9	0.07	0.56	0.85	0.53	0.83
육종	형질	5	21	9	0.24	0.56	1.00	0.14	0.71
혈압계	청진기	5	9	13	0.56	0.38	1.00	1.00	0.83
내시경	CT	5	14	23	0.36	0.22	1.00	1.00	1.00
MRI	진단	5	17	35	0.29	0.14	0.89	0.55	0.83
암	질병	5	72	37	0.07	0.14	0.85	0.36	0.45
혈액 검사	생화학적	4	9	5	0.44	0.80	0.90	0.71	1.00
혈압	혈압계	4	10	9	0.40	0.44	0.45	1.00	1.00
음식	오염	4	9	11	0.44	0.36	0.19	0.48	0.80
암	방사선	4	72	9	0.06	0.44	0.85	0.69	1.00
항암제	방사선	4	9	9	0.44	0.44	0.53	0.69	0.80
재배	유전자 변형 생물	4	8	12	0.50	0.33	0.55	0.70	0.80
암	PET	4	72	14	0.06	0.29	0.85	1.00	1.00
교배	품종	4	5	17	0.80	0.24	0.12	0.77	0.80
유전자 변형	육종	4	4	21	1.00	0.19	1.00	1.00	0.80
암세포	치료 방법	3	22	4	0.14	0.75	0.39	0.27	1.00
질병 치료	침단 과학	3	3	4	1.00	0.75	0.40	0.57	1.00
암	종양 표지자 검사	3	72	4	0.04	0.75	0.85	1.00	1.00

$F(A)$: 개념 A를 포함하는 관계의 빈도, $F(B)$: 개념 B를 포함하는 관계의 빈도, $F(\overline{AB})$: \overline{AB} 관계의 빈도

$P(\overline{AB})$: A개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도, $P(\overline{BA})$: B개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도

$S(A)$: 개념 A의 고유도, $S(B)$: 개념 B의 고유도, $S(\overline{AB})$: \overline{AB} 관계의 고유도



Note. 노드의 크기는 연결중심성에 비례, 음영은 고유도에 비례, 연결선의 굵기는 관계의 가중치(≥ 3)에 비례, 색상이 다른 노드는 이전 학교급에 비해 새로이 추가된 개념

<그림 IV-44> ‘생명공학’에 대한 고등학교 생명과학II 교과서의 개념 관계망

<표 IV-131> ‘생명공학’에 대한 고등학교 생명과학Ⅱ 교과서 개념 관계망의 주요 관계

개념A	개념B	$F(\overline{AB})$	$F(A)$	$F(B)$	$P(\overline{AB})$	$P(\overline{BA})$	$S(A)$	$S(B)$	$S(\overline{AB})$
DNA	염기 서열	8	35	28	0.23	0.29	0.70	0.82	0.33
대장균	플라스미드	7	21	17	0.33	0.41	0.83	1.00	1.00
유전자	삽입	7	39	21	0.18	0.33	0.39	0.77	0.47
항체	B 림프구	6	15	7	0.40	0.86	0.29	0.39	0.50
유전자	질병	6	39	14	0.15	0.43	0.39	0.11	0.50
대장균	재조합 DNA	6	21	16	0.29	0.38	0.83	0.94	1.00
DNA	제한 효소	6	35	20	0.17	0.30	0.70	0.91	1.00
플라스미드	삽입	6	17	21	0.35	0.29	1.00	0.77	1.00
단백질	유전자	6	10	39	0.60	0.15	0.49	0.39	0.18
생물	형질 전환	5	15	13	0.33	0.38	0.20	1.00	1.00
배아	줄기 세포	5	19	15	0.26	0.33	0.92	0.71	1.00
DNA	플라스미드	5	10	17	0.50	0.29	1.00	1.00	1.00
사람	유전체	5	46	21	0.11	0.24	0.18	0.63	0.56
항체	잡종 세포	4	15	4	0.27	1.00	0.29	1.00	1.00
GMO	LMO	4	7	4	0.57	1.00	0.64	1.00	1.00
숙주 세포	재조합 플라스미드	4	7	5	0.57	0.80	0.89	1.00	1.00
유전자	발현	4	39	6	0.10	0.67	0.39	0.86	0.16
대장균	숙주 세포	4	21	7	0.19	0.57	0.83	0.89	1.00
암세포	암 치료	4	11	7	0.36	0.57	0.28	0.53	0.57
의약품	대량 생산	4	9	8	0.44	0.50	0.38	0.42	0.80
유전자	형질 전환	4	39	13	0.10	0.31	0.39	1.00	1.00
배아	복제	4	19	15	0.21	0.27	0.92	0.48	1.00
항원	항체	4	5	15	0.80	0.27	0.12	0.29	0.14
제한 효소	플라스미드	4	20	17	0.20	0.24	0.91	1.00	1.00
연결 효소	제한 효소	4	5	20	0.80	0.20	0.83	0.91	0.80
재조합 DNA	삽입	4	16	21	0.25	0.19	0.94	0.77	1.00
PCR	증폭	3	15	6	0.20	0.50	1.00	0.75	1.00
사람	DNA 지문	3	46	7	0.07	0.43	0.18	1.00	1.00
유전자 재조합 기술	인슐린	3	9	7	0.33	0.43	0.82	0.14	1.00
단일 클론 항체	암 치료	3	14	7	0.21	0.43	1.00	0.53	1.00

$F(A)$: 개념 A를 포함하는 관계의 빈도, $F(B)$: 개념 B를 포함하는 관계의 빈도, $F(\overline{AB})$: \overline{AB} 관계의 빈도

$P(\overline{AB})$: A개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도, $P(\overline{BA})$: B개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도

$S(A)$: 개념 A의 고유도, $S(B)$: 개념 B의 고유도, $S(\overline{AB})$: \overline{AB} 관계의 고유도

(4) ‘생명공학’ 주제에 대한 학교급별 연계성

이상의 ‘생명 공학과 생명 과학 기술’ 주제에 대한 학교급별 교과서의 개념 관계망 분석을 통해 알아본 수직적 연계성의 분석 결과는 <표 IV-132>와 같이 요약될 수 있다.

생명 공학 주제에 대해서는 초등학교와 중학교에서는 생명 과학 기술의 이용 사례를 소단원 수준에서 간단히 다루고 있었고(그림 IV-41, 그림 IV-42), 고등학교 과학에서는 과학 기술을 이용한 건강관리와 암의 진단 기술 등 생명공학 기술과 직접적으로 연결되는 내용과는 거리가 있는 내용이 주로 다루어지고 있었다(그림 IV-43). 따라서 생명공학 기술 자체에 대한 내용은 고등학교 생명과학Ⅱ에서만 집중적으로 다루어져 그 내용의 연계성에서 이전 학교급과 격차를 보이고 있었다. 또 생명 공학 관련 주제는 초, 중, 고등학교 과학에서 그 이용 사례를 중심으로 내용이 구성되다보니 각 학교급 교과서의 내용에 포함된 개념들과 관계들의 고유도가 높고 빈도는 낮게 나타나는 특징을 보였다(표 IV-128~표 IV-130).

<표 IV-132> ‘생명공학’에 대한 학교급 교과서별 수직적 연계성

학교급	주요 내용 및 연계성
초등학교 과학	첨단 생명 과학 기술의 이용 질병의 예방과 치료(푸른곰팡이), 해충 퇴치(생물 농약), 환경오염 예방(생물 연료)
중학교 과학	[반복] 생명 공학(과학) 기술의 이용 [발전] 환경오염 예방(폐수 처리), 건강(야맹증 - 황금 쌀), [격차] 암 치료(바이오 칩, 줄기 세포)
고등학교 과학	[격차] 생명 공학(과학) 기술을 이용한 건강관리 [격차] 암 진단(CT, MRI)
고등학교 생명과학 I	[격차] 생명공학 기술 재조합 DNA, 단일클론항체, PCR, 인간유전체 사업, 줄기세포, 장기 이식 : 대장균, 플라스미드, 제한효소, DNA, 유전자 삽입 [발전] 생명공학 기술의 이용 (생명 윤리) [발전] GMO, 질병진단 및 치료, 환경 문제 해결

8) ‘과학 탐구과정’ 주제에 대한 학교급별 개념 관계망 및 연계성

본 연구에서 설정한 생물학 지식을 구성하는 8개의 핵심 주제 중 마지막 주제는 과학의 본성과 과학 탐구과정에 대한 것이다. 현행 교육과정의 교과서에서는 공통교육과정인 초등학교와 중학교의 과학 교과서에서는 관련 내용이 교육과정에서 설정한 통합단원에서 함께 다루어지고 있었고, 고등학교 과학에서는 과학 탐구과정에 대해 별도로 다루고 있지 않아, 초등학교, 중학교 과학 교과서, 그리고 고등학교 생명과학 I 교과서에서 과학의 본성과 탐구 과정에 관련된 내용을 다루고 있었다.

과학 탐구과정 주제에 대하여 각 교과서에 나타난 개념 관계망의 네트워크 특성은 <표 IV-133>과 같다. 이 주제와 관련된 전체 개념의 수는 358개로 다른 주제들에 비하여 가장 적은 수의 개념이 사용되고 있었고(표 IV-88), 개념 간 연결의 가중치도 1.4 미만으로 낮아 이 주제가 다른 주제들에 비해 상대적으로 적게 다루어지고, 강조의 정도도 낮다고 볼 수 있다. 그런데 과학 탐구과정 주제의 경우 생명 영역뿐만 아니라 과학의 네 영역과 모두 관련되는 내용이다. 초등학교와 중학교에서는 과학 탐구과정 주제와 관련한 통합단원을 설정하여 함께 가르치고 있지만, 고등학교 선택 교과 I·II의 경우 교과별로 별도의 교과서를 사용하고 있다. 따라서 고등학교 물리·화학·지구과학 선택교과에서 과학 탐구과정 주제에 대한 내용이 어떻게 다루어지고 있는지 함께 고려될 필요가 있을 것이다(표 IV-133).

학교급별 교과서에 포함된 개념의 수는 초등학교 교과서에서 20개, 중학교에서는 74개, 고등학교 생명과학 I에서는 316개로 편차가 크게 나타나고 있었다(표 IV-133). 이는 초등학교 교과서에서는 과학 탐구과정에 대한 내용만 다루고, 중학교에서는 탐구 과정에 더하여 과학 기술과 사회의 관계에 대한 내용, 고등학교 생명과학 I에서는 생명과학의 특성을 중심으로 한 과학의 본성에 대한 내용들이 함께 다루어지고 있었기 때문이다.

각 관계망의 시각화 결과는 <그림 IV-45>부터 <그림 IV-47>까지, 주요 관계를 분석한 결과는 <표 IV-134>부터 <표 IV-136>까지 제시하였다.

<표 IV-133> ‘과학 탐구과정’에 대한 학교급별 개념 관계망의 구조적 특성

학교급	개념 수(%)	연결 수	평균 연결정도	평균 연결 가중치	지름	밀도
초등학교 과학	20 (6)	50	5.3	1.37	4	0.267
중학교 과학	74 (21)	202	5.7	1.27	5	0.063
고등학교 생명과학 I *	316 (89)	1,133	7.2	1.20	8	0.023
영역 전체	358 (100)	1,350	7.5	1.23	7	0.021

* 과학 탐구과정에 대한 내용은 과학의 네 영역에 모두 관련되는 내용이고, 고등학교 과학과의 선택과목 I, II의 경우 4개 교과로 나뉘고 있다. 본 연구에서는 고등학교 생명과학 I에 포함된 과학 탐구과정 주제 관련 내용만을 대상으로 분석이 이루어졌다. 따라서 본 분석 결과는 생명 영역 이외의 교과서에서 다루는 과학 탐구과정 관련 내용에 대한 분석은 반영되지 않은 결과이다.

(1) 초등학교 과학 교과서에 포함된 ‘과학 탐구과정’에 대한 개념 관계망

<그림 IV-45>는 초등학교 과학 교과서에 포함된 ‘과학 탐구과정’ 관련 내용에 대한 개념 관계망이다. 초등학교 교과서에서는 ‘과학자들 자연 현상에 대하여 궁금한 점을 문제로 정하고, 문제의 해결을 위해 가설을 세운 후 실험이나 자료의 수집을 통해 가설을 검증하는 과정’을 과학 탐구로 안내하고 있었다. 물리 영역과 관련된 소재인 못의 자화와 관련된 실험을 예로 들어 문제인식, 가설 설정, 변인(조건) 통제, 자료 변환, 자료 해석, 결론 도출의 탐구 과정을 설명하고 있었고, 관계망을 구성하는 주요 개념으로 ‘실험 결과’, 가설, 그래프 등의 개념의 빈도가 다른 개념들에 비하여 상대적으로 높게 나타나기는 하였으나 이를 제외한 대부분의 연결의 빈도($F(AB)$)가 1로 관련 내용이 반복되는 정도는 낮음을 알 수 있다(표 IV-134).

(2) 중학교 과학 교과서에 포함된 ‘과학 탐구과정’에 대한 개념 관계망

<그림 IV-46>은 중학교 과학 교과서에 포함된 ‘과학 탐구과정과 과학의 본성’ 관련 내용에 대한 개념 관계망이다. 중학교 교과서에서는 과학자가 자연 현상에 대해 호기심을 가지고 탐구함으로써 과학 지식이 구성됨을 설

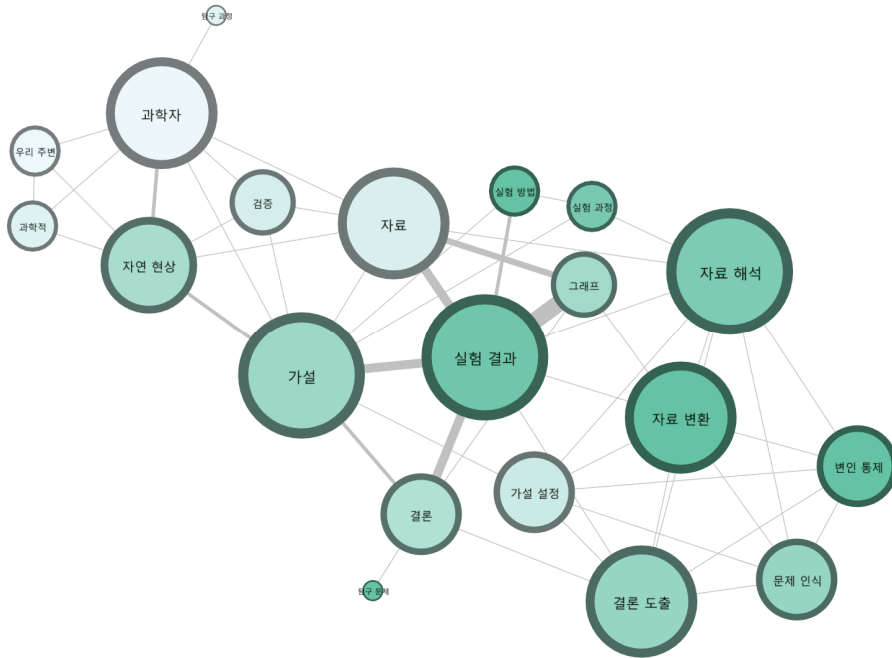
명하고, 에이크만이 닭의 각기병에 대해 수행한 연구를 예로 들어 가설의 설정을 통한 과학 탐구의 방법과 과정을 설명하고 있었다. 또 이러한 과학이 우리의 생활과 사회를 변화시키고, 과학과 관련된 다양한 직업이 있음을 알도록 하는 내용도 포함되고 있었다. 그리고 중학교 과학3 교과서의 마지막 단원인 과학과 인류 문명 단원에서는 인류의 문명과 함께 발전해온 중요한 과학 기술의 발달을 간략하게 제시하고 있었다.

중학교 과학 교과서의 과학의 본성, 탐구 과정에 대한 내용은 우리 생활-과학-직업, 과학-호기심-자연현상, 각기병-에이크만-가설, 가설 설정-자료 해석 등의 관계로 요약될 수 있었다. 과학의 본성과 관련하여서는 과학 지식의 발달 과정을 이해할 수 있는 과학사에 대한 내용이 중학교 과학 3 교과서의 과학과 인류 문명 단원에서 다루어지고 있었다(표 IV-135).

(3) 고등학교 생명과학 I 에 포함된 ‘과학 탐구과정’에 대한 개념 관계망

〈그림 IV-47〉은 고등학교 생명과학 I 교과서에 포함된 ‘과학 탐구과정과 과학의 본성’ 관련 내용에 대한 개념 관계망이다. 고등학교 생명과학 I의 첫 단원인 생명 과학의 이해 단원에서는 생명 과학이 어떤 학문인지, 그리고 생명 과학 지식이 어떻게 생성되고 발달하는지를 과학자의 탐구 과정과 관련지어 학습할 수 있도록 제시하고 있었다. 혹, 다윈, 파스퇴르, 왓슨과 크릭 등의 연구에 대해 간략히 소개하면서 생명 과학 지식의 발달에 대한 내용을 다루고 있었고, 이러한 생명 과학 지식의 발달은 우리의 생활에 영향을 미치게 됨을 설명하고 있었다. 또 중학교 교과서에서와 같이 에이크만의 각기병 연구를 예로 들어 생명 과학의 탐구 과정에 대해서 가설 검증형 실험 탐구의 과정을 과학의 탐구 과정으로 제시하고 있었다.

과학의 본성, 탐구 과정에 대해 고등학교 생명과학 I에서 다루어지고 있는 내용은 생명과학-탐구 과정-과학자-과학 지식, 생명과학-생물-생명 현상, 생물-세포, 에이크만-닭-각기병, 변인-조작 변인 등의 관계로 요약될 수 있었다(표 IV-136).



Note. 노드의 크기는 연결중심성에 비례, 음영은 고유도에 비례, 연결선의 굵기는 관계의 가중치(≥ 1)에 비례, 색상이 다른 노드는 이전 학교급에 비해 새로이 추가된 개념

<그림 IV-45> ‘탐구 과정’에 대한 초등학교 교과서의 개념 관계망

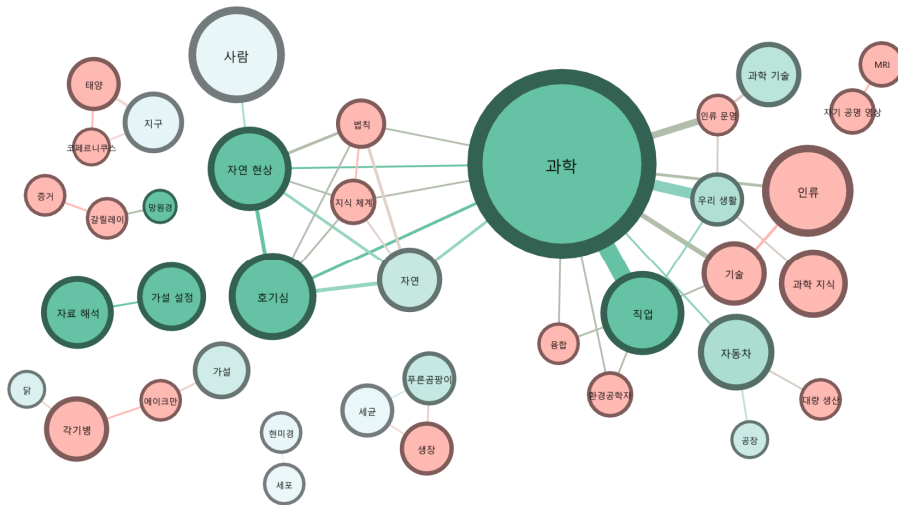
<표 IV-134> ‘과학 탐구과정’에 대한 초등학교 과학 교과서 개념 관계망의 주요 관계

개념A	개념B	$F(\overline{AB})$	$F(A)$	$F(B)$	$P(\overline{AB})$	$P(\overline{BA})$	$S(A)$	$S(B)$	$S(\overline{AB})$
실험 결과	그래프	7	29	10	0.24	0.70	0.51	0.35	0.78
실험 결과	자료	4	29	6	0.14	0.67	0.51	0.12	0.80
실험 결과	결론	4	29	6	0.14	0.67	0.51	0.24	0.44
가설	실험 결과	4	18	29	0.22	0.14	0.32	0.51	0.80
그래프	자료	3	10	6	0.30	0.50	0.35	0.12	0.75
가설	자연 현상	2	18	3	0.11	0.67	0.32	0.27	1.00
과학자	자연 현상	2	3	3	0.67	0.67	0.07	0.27	0.50
실험 결과	실험 방법	2	29	6	0.07	0.33	0.51	0.86	1.00
가설	결론	2	18	6	0.11	0.33	0.32	0.24	0.40
과학자	우리 주변	1	3	1	0.33	1.00	0.07	0.59	1.00
자연 현상	우리 주변	1	3	1	0.33	1.00	0.27	0.59	1.00
결론	탐구 문제	1	6	1	0.17	1.00	0.24	1.00	1.00
자연 현상	검증	1	3	1	0.33	1.00	0.27	0.22	1.00
자연 현상	과학적	1	3	1	0.33	1.00	0.27	0.07	1.00
과학자	검증	1	3	1	0.33	1.00	0.07	0.22	1.00
우리 주변	과학적	1	1	1	1.00	1.00	0.59	0.07	1.00
가설	검증	1	18	1	0.06	1.00	0.32	0.22	0.25
과학자	탐구 과정	1	3	1	0.33	1.00	0.07	0.06	0.20
가설 설정	문제 인식	1	1	2	1.00	0.50	0.14	0.33	0.33
가설 설정	결론 도출	1	1	2	1.00	0.50	0.14	0.33	0.33
실험 결과	자료 변환	1	29	3	0.03	0.33	0.51	1.00	1.00
자료 해석	자료 변환	1	3	3	0.33	0.33	0.43	1.00	1.00
가설	실험 과정	1	18	4	0.06	0.25	0.32	0.44	1.00
그래프	결론	1	10	6	0.10	0.17	0.35	0.24	1.00
가설	과학자	1	18	3	0.06	0.33	0.32	0.07	0.50
검증	자료	1	1	6	1.00	0.17	0.22	0.12	1.00
자료 변환	그래프	1	3	10	0.33	0.10	1.00	0.35	1.00
자료 해석	실험 결과	1	3	29	0.33	0.03	0.43	0.51	1.00
결론 도출	실험 결과	1	2	29	0.50	0.03	0.33	0.51	0.50
가설 설정	변인 통제	1	1	2	1.00	0.50	0.14	0.67	1.00

$F(A)$: 개념 A를 포함하는 관계의 빈도, $F(B)$: 개념 B를 포함하는 관계의 빈도, $F(\overline{AB})$: \overline{AB} 관계의 빈도

$P(\overline{AB})$: A개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도, $P(\overline{BA})$: B개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도

$S(A)$: 개념 A의 고유도, $S(B)$: 개념 B의 고유도, $S(\overline{AB})$: \overline{AB} 관계의 고유도



Note. 노드의 크기는 연결중심성에 비례, 음영은 고유도에 비례, 연결선의 굵기는 관계의 가중치(≥ 2)에 비례. 색상이 다른 노드는 이전 학교급에 비해 새로이 추가된 개념

<그림 IV-46> ‘과학 탐구과정’에 대한 중학교 교과서의 개념 관계망

<표 IV-135> ‘과학 탐구과정’에 대한 중학교 과학 교과서 개념 관계망의 주요 관계

개념A	개념B	$F(\overline{AB})$	$F(A)$	$F(B)$	$P(\overline{AB})$	$P(\overline{BA})$	$S(A)$	$S(B)$	$S(\overline{AB})$
과학	직업	18	70	22	0.26	0.82	0.79	0.92	0.95
과학	우리 생활	11	70	13	0.16	0.85	0.79	0.38	0.79
과학	인류 문명	7	70	11	0.10	0.64	0.79	0.92	1.00
과학	기술	5	70	12	0.07	0.42	0.79	0.62	0.28
자연 현상	호기심	4	7	7	0.57	0.57	0.64	0.62	1.00
자연 현상	법칙	3	7	5	0.43	0.60	0.64	0.70	1.00
과학	호기심	3	70	7	0.04	0.43	0.79	0.62	1.00
과학 기술	인류 문명	3	7	11	0.43	0.27	0.82	0.92	1.00
인류	기술	3	14	12	0.21	0.25	0.28	0.62	0.60
과학	인류	3	70	14	0.04	0.21	0.79	0.28	0.75
자연	지식 체계	2	4	2	0.25	1.00	0.24	1.00	1.00
지구	코페르니쿠스	2	7	2	0.50	1.00	0.12	0.67	1.00
자연 현상	지식 체계	2	70	2	0.29	1.00	0.64	1.00	1.00
과학	지식 체계	2	3	2	0.03	1.00	0.79	1.00	1.00
태양	코페르니쿠스	2	70	2	0.67	1.00	0.12	0.67	1.00
과학	환경공학자	2	7	2	0.03	1.00	0.79	1.00	1.00
호기심	지식 체계	2	3	2	0.29	1.00	0.62	1.00	1.00
갈릴레이	망원경	2	2	2	0.67	1.00	0.75	0.67	1.00
생장	푸른곰팡이	2	2	2	1.00	1.00	0.15	0.14	0.50
과학	융합	2	70	2	0.03	1.00	0.79	0.24	0.40
각기병	닭	2	5	2	0.40	1.00	0.31	0.13	0.33
세균	푸른곰팡이	2	2	2	1.00	1.00	0.05	0.14	0.29
가설	에이크만	2	6	4	0.33	0.50	0.18	0.25	1.00
가설 설정	자료 해석	2	4	4	0.50	0.50	0.57	0.57	0.67
각기병	에이크만	2	5	4	0.40	0.50	0.31	0.25	0.22
과학	법칙	2	70	5	0.03	0.40	0.79	0.70	1.00
과학	자연 현상	2	70	7	0.03	0.29	0.79	0.64	1.00
과학 지식	우리 생활	2	8	13	0.25	0.15	0.67	0.38	1.00
기술	직업	2	12	22	0.17	0.09	0.62	0.92	1.00
환경공학자	직업	2	2	22	1.00	0.09	1.00	0.92	1.00

$F(A)$: 개념 A를 포함하는 관계의 빈도, $F(B)$: 개념 B를 포함하는 관계의 빈도, $F(\overline{AB})$: \overline{AB} 관계의 빈도

$P(\overline{AB})$: A개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도, $P(\overline{BA})$: B개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도

$S(A)$: 개념 A의 고유도, $S(B)$: 개념 B의 고유도, $S(\overline{AB})$: \overline{AB} 관계의 고유도

<표 IV-136> ‘과학 탐구과정’에 대한 고등학교 생명과학 I 교과서 개념 관계망의 주요 관계

개념A	개념B	$F(\overline{AB})$	$F(A)$	$F(B)$	$P(\overline{AB})$	$P(\overline{BA})$	$S(A)$	$S(B)$	$S(\overline{AB})$
탐구 과정	생명과학	9	12	44	0.75	0.20	0.81	0.81	0.90
각기병	에이크만	7	11	12	0.64	0.58	0.69	0.75	0.78
조작 변인	변인	6	7	7	0.86	0.86	1.00	1.00	1.00
무생물	생물	6	7	38	0.86	0.16	0.78	0.22	0.75
자극	반응	5	5	6	1.00	0.83	0.38	0.24	0.11
닭	에이크만	5	8	12	0.62	0.42	0.52	0.75	0.83
과학자	생명과학	5	16	44	0.31	0.11	0.21	0.81	1.00
닭	백미	4	8	4	0.50	1.00	0.52	0.80	0.80
크릭	왓슨	4	4	4	1.00	1.00	0.17	0.19	0.15
생명과학	지식	4	44	5	0.09	0.80	0.81	0.22	1.00
생식	유전	4	6	5	0.67	0.80	0.34	0.44	0.67
각기병	닭	4	11	8	0.36	0.50	0.69	0.52	0.67
생물	생명 현상	4	38	11	0.11	0.36	0.22	0.56	0.57
생명 현상	생명과학	4	11	44	0.36	0.09	0.56	0.81	0.80
조작 변인	중속 변인	3	7	3	0.43	1.00	1.00	1.00	1.00
질병	AIDS	3	7	3	0.43	1.00	0.36	0.88	0.60
과학자	현미경	3	16	6	0.19	0.50	0.21	0.13	0.60
세포	현미경	3	14	6	0.21	0.50	0.25	0.13	0.09
먹이	닭	3	3	8	1.00	0.38	0.39	0.52	1.00
생명	생명체	3	9	10	0.33	0.30	0.30	0.16	0.23
과학자	탐구 과정	3	16	12	0.19	0.25	0.21	0.81	0.60
과학	생명과학	3	5	44	0.60	0.07	0.11	0.81	0.60
분류학	발생학	2	2	2	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
탐구 설계	탐구 수행	2	3	2	0.67	1.00	0.67	1.00	1.00
각기병	예방	2	11	2	0.18	1.00	0.69	0.53	1.00
생물	세포설	2	38	2	0.05	1.00	0.22	0.15	1.00
과학자	세포설	2	16	2	0.12	1.00	0.21	0.15	1.00
바이러스	핵산	2	14	2	0.14	1.00	0.49	0.29	1.00
생명 현상	인류 복지	2	11	2	0.18	1.00	0.56	0.67	1.00
발생학	형태학	2	2	2	1.00	1.00	1.00	0.67	1.00

$F(A)$: 개념 A를 포함하는 관계의 빈도, $F(B)$: 개념 B를 포함하는 관계의 빈도, $F(\overline{AB})$: \overline{AB} 관계의 빈도

$P(\overline{AB})$: A개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도, $P(\overline{BA})$: B개념을 중심으로 한 \overline{AB} 관계의 근접도

$S(A)$: 개념 A의 고유도, $S(B)$: 개념 B의 고유도, $S(\overline{AB})$: \overline{AB} 관계의 고유도

(4) ‘과학 탐구과정’ 주제에 대한 학교급별 연계성

이 상의 과학의 본성과 과학 탐구과정 주제에 대한 학교급별 교과서의 개념 관계망 분석을 통해 알아본 수직적 연계성의 분석 결과는 <표 IV-137>과 같이 요약될 수 있다.

각 학교급 교과서에서 과학 탐구과정에 대한 내용은 그 개념들 사이의 관계가 전체적으로 강조되지 않고 있었고, 한 가지 사례를 들어 가설 검증형 실험 탐구의 과정을 나열식으로 제시하고 있는 경향을 보였다. 과학자가 하는 일, 과학과 직업, 과학과 사회가 주고받는 영향 등의 과학의 본성과 관련된 내용이 중학교, 고등학교 교과서에서는 과학 탐구과정에 추가적으로 다루어지고 있었다.

교육과정의 내용체계에서는 탐구 과정에 대한 내용을 명시적으로 설정하지 않고 있음에도 불구하고 초등학교급의 교과서에서 탐구 과정에 대한 내용을 다룸으로써 내용적 면에서 탐구과정 주제에 대한 수직적 연계성이 계속성과 계열성을 보이고 있음을 알 수 있다(표 IV-137).

<표 IV-137> ‘과학 탐구과정’에 대한 학교급 교과서별 수직적 연계성

학교급	주요 내용
초등학교 과학	과학자들은 자연 현상을 과학적으로 설명함 탐구의 요소 : 문제인식, 가설 설정, 변인(조건) 통제, 자료 변환, 자료 해석, 결론 도출 탐구 과정 예시: 못의 자화
중학교 과학	[발전] 과학: 자연 현상을 설명하는 지식 체계 [반복] 과학 탐구과정: 가설의 잠정성 [발전], 가설 설정, 자료 해석 [발전] 탐구 과정 예시: 에이크만 - 각기병 [격차] 과학 - 직업 / [발전] 과학 - 우리 생활
고등학교 생명과학 I	과학 탐구과정: 가설 설정, 자료 해석 [발전] 변인의 종류 / 변인 통제 [반복] 에이크만 - 각기병 [격차] 생명 과학의 특성: 연구 내용과 분야 [발전] 과학기술-인간 생활

V. 논의

본 연구에서는 2009 개정 과학과 교육과정에 따른 교과서 생물 영역의 내용에 대해 내용 분석과 개념 관계망 분석을 수행하였다. 연구의 결과로부터 교과서 내용의 양적 측면과 내용 측면에 대해 얻을 수 있는 생물교육에 대한 시사점과 개선점에 대한 논의는 다음과 같다.

1. 학교급별 교과서 생명 영역의 학습량 증가 양상

현행 과학과 교육과정 생명 영역의 교과서에 포함된 학습량의 학교급별 증가 양상에 대한 논의이다. 학교급별 교과서에 포함된 문장 및 개념의 수 증감을 보면 초등학교에서 중학교, 고등학교로 올라갈수록 문장의 수와 개념의 수가 꾸준히 증가하는 경향을 나타내는데, 특히 중학교에서 고등학교로 학교급이 올라갈 때의 학습 내용의 증가 폭이 초등학교와 중학교 사이의 증가 폭에 비해 3배 이상으로 매우 크게 나타났다(표 IV-1).

이는 임수민과 김영신(2015)이 교육과정 성취기준에 대한 분석을 통해 학교급에 따라 학습해야 할 개념 수가 증가함을 보인 연구 결과와 일치하는 것이다. 또 학교급이 올라감에 따라 학생들이 새롭게 학습해야하는 신규 학습 개념 수의 증가 양상은(중학교 1천여 개, 고등학교 3천여 개 증가)은 교육과정에서 제시되고 있는 개념의 증가(초등학교 76개, 중학교 67개, 고등학교 148개)(임수민, 김영신, 2015)에 비하여 훨씬 더 극적인 증가 경향을 나타내고 있다. 특히 고등학교 과정이 선택교육과정이라는 점을 감안하더라도 중학교와 고등학교 사이에는 그 학습량이 매우 큰 격차를 보였다. 따라서 학교급이 달라질수록 학생들에게 가중되는 학습 부담은 교육과정의 개발 과정에서 고려되는 수준에 비하여 훨씬 더 심각할 것으로 예상할 수 있다.

학교급이 초등학교에서 중학교로, 중학교에서 고등학교로 올라갈 때 나

타나는 이러한 학습량의 급격한 증가는 학생들에게 생물학을 수많은 개념을 암기하는 교과로 인식하게 하고 학생들에게는 학습에 대한 부담을 주어 생물학에 대한 흥미를 감소시킬 우려가 있다. 실제로 우리나라 학생들은 학년이 올라갈수록 과학에 대한 선호도가 낮아지고 과학을 어려운 과목으로 느끼고 있다(윤진, 전우수, 2003; 이양락, 박재근, 이봉우, 2006). 이처럼 학생들로 하여금 과학을 어려운 과목으로 느끼게 하는 원인 중 하나가 본 연구의 결과에서 나타난 학교급에 따른 학습 내용의 계단적 증가로 인한 것은 아닌지 생각해 볼 필요가 있다. 또 이러한 문제 제기는 7차 교육과정의 교과서를 대상으로 수행된 심규철 등(2003)의 연구에서도 제기된 바 있다. 교육 내용의 감축을 통한 적정화를 표방한 2차례의 교육과정 개정에도 불구하고 학교급별로 다루고 있는 학습 내용의 양과 수준에서 나타나는 격차의 문제는 해소되지 못하고 여전함을 알 수 있다. 따라서 학교급 간 교육 내용에서 격차가 발생하는 원인을 알아보고, 학습자의 인지 발달을 고려하여 격차를 완화시킬 수 있는 방안을 마련할 필요가 있다.

다른 한편으로 과학교육에서의 학습량 과다에 대한 문제 제기는 교육과정 개정 논의에서 끊임없이 계속되어 왔다(김재춘, 2003; 이양락 등, 2005; 민현식 등, 2005). 이 문제의 해결을 위해 최근의 교육과정 개정에서는 교과별 학습 내용의 감축을 시도하였고, 7차 교육과정에서는 이전 교육과정에 비하여 30% 감축, 2009 개정 교육과정에서는 20% 감축을 목표로 교육과정 개정이 이루어졌다(남수경 등, 2010). 이러한 개정의 과정을 통해 여러 개의 단원을 하나의 단원으로 통폐합하거나 단원 간의 내용을 이동함으로써 학습 내용을 감축하여 적정성을 추구함과 동시에, 초·중·고등학교 과학, 그리고 고등학교 생명과학 I·II의 내용이 자연스럽게 연계 될 수 있도록 하는 연계성이 추구되었고(한국과학창의재단, 2011), 이를 통해 학습량의 감축과 연계성이라는 두 마리 토끼를 잡고자 하였다.

하지만 본 연구의 결과에서는 교과서에서 제시되고 있는 내용과 학습량이 초등학교에서 중학교로 진학할 때 증가하는 것에 비하여 중학교에서 고

등학교로 올라감 따라 그 증가폭이 더욱 급격해짐을 알 수 있었다(표 IV-1). 이러한 급격한 증가 경향이 교육과정의 개정을 통한 학습 내용의 감축과 적정화 시도로 인해 각 학교급 교과서의 집필진들로 하여금 해당 학교급에 설정된 내용만을 고려한 개별적 감축을 야기하고 있기 때문은 아닌지 알아볼 필요가 있을 것으로 사료된다. 또 이로 인해 각 급 교과서에서 교육과정 전체의 연계성을 고려한 내용의 감축이 이루어지지 못하고 오히려 학교급 간 학습 내용의 연계성을 해치고 학습량의 계단적 증가 현상을 심화 시키고 있지는 않은지 점검할 필요가 있을 것이다. 실제로 본 연구의 결과에서는 교육과정 내용체계에 생물의 상호작용 주제와 관련된 내용이 중학교에는 포함되지 않고 초등학교와 고등학교 생명과학 I의 내용으로만 제시됨으로 인해 그 내용체계에 따라 집필된 교과서에서도 해당 주제에 대한 학습 내용이 고등학교 생명과학 I에서 급격한 증가 양상을 보임을 알 수 있었다(표 IV-122).

학교급 간에 발생하는 학습량과 내용의 격차 문제를 해결하고 학생들이 과학에 대한 긍정적인 태도를 갖게 하기 위해서는 학생들의 흥미와 요구를 고려한 학습 내용이 합리적 기준에 의해 선정될 수 있어야 할 것이다. 이를 위해서는 각 학교급에서 필수적으로 지도해야 할 개념, 선택적으로 지도해야 할 개념에 대한 구체적 논의와 합의를 위한 과학교육 관련자들의 노력이 요구된다.

2. 현행 과학과 교육과정 생명 영역의 주요 개념과 핵심 주제

모든 학교급 교과서의 내용에 대한 개념 관계망을 분석한 결과 개념들의 연결정도 분포가 먹힘수 분포를 나타내고 있었다(그림 IV-1). 이는 현행 교육과정 생명 영역 내용의 개념 관계망에도 다수의 개념들을 연결하는 허브 개념, 즉 핵심 역할을 담당하는 개념들이 존재한다는 것을 의미한다. 교과서 전체에서 추출된 5천여 개의 개념 중 출현 빈도와 네트워크 분석을 통해 얻어진 중심성(연결정도, 사이중심성) 지수가 높은 328개의 주요 개념을 추출할 수 있었다(표 IV-3, 표 IV-4, 표 IV-6, 표 IV-10, 표 IV-14, 표 IV-19, 표 IV-25, 표 IV-28). 이 주요 개념들이 현행 교육과정의 생물학 지식의 뼈대를 이루는 주요 개념이라고 볼 수 있을 것이다.

교육과정 전체에 대한 주요 개념 관계망의 네트워크 군집 분석 결과 생물의 유기적 구성, 물질대사, 항상성, 연속성, 생물의 다양성과 상호작용에 대한 내용과 생명공학, 탐구 과정에 대한 내용을 포함하는 개념군이 나타나고 있었다(그림 IV-4). 이 중 물질대사와 연속성 주제에 대한 개념군에는 328개의 주요 개념 중 각각 70개(21.3%), 67개(20.4%)로 가장 많은 수의 주요 개념이 포함되고 있었고, 주요 개념들 사이의 연결도 평균 5회 이상으로 높았다(표 IV-3). 이를 통해 현행 교육과정에서는 물질대사와 생명의 연속성 관련 내용이 교과서에서 높은 비율을 차지하고 강조되는 정도도 높음을 알 수 있다.

생물의 진화와 다양성 주제와 상호작용 주제에 관련된 개념들은 각각 독립된 개념군을 형성하지 못하고 하나의 개념군으로 묶이고 있었다. 이는 이 두 주제와 관련된 개념들이 다른 개념군의 개념들 보다는 서로 연결되는 정도가 더 높고, 생물 개념을 중심으로 한 큰 생물학에 대한 내용을 구성하고 있었기 때문이다. 이로 인해 중심성이 높은 핵심 개념인 생물 개념을 중심으로 두 주제가 묶이고 있음을 알 수 있다.

주요 개념만을 포함하여 생성한 교육과정 전체 내용의 주요 개념 관계망(그림 IV-2)에 대한 네트워크 분석 결과에서는 사람, 세포, 생물, 몸(인체) 개념이 전역적 중심성, 즉 관계망 전체의 내용을 아우르는 정도를 나타내는 지수인 사이중심성이 높은 개념으로 나타났다. 이를 통해 이 개념들이 현행 교육과정의 생물학 지식 체계의 최상위에 위치하는 핵심 개념들임을 알 수 있었다(표 IV-28, 표 IV-4, 표 IV-19, 표 IV-10). 특히 사람, 세포, 생물 개념의 경우 초등학교 교과서를 제외한 모든 학교급의 교과서에서 매우 높은 중심성을 나타내고 있었다(표 IV-38, 표 IV-52, 표 IV-62, 표 IV-76). 이 핵심 개념들은 생물학 지식의 핵심 주제(main theme)를 이끄는 개념이 될 뿐만 아니라 각 핵심 주제를 연결하는 가교가 되는 개념이라고 볼 수 있다.

사람 개념의 경우 중학교와 고등학교 과학 그리고 고등학교 생명과학 I의 내용에서 사이중심성이 가장 높은 개념으로 나타나고 있었다. 이는 현행 교과서 내용의 많은 부분이 사람 중심의 내용으로 구성되어 있음을 의미한다. 실제로 교과서에서 사람 개념과 관계를 형성하는 주요 개념에는 개체 수준의 몸 개념을 포함한 인체의 구조와 관련된 개념, 사람의 질병과 건강에 관련된 개념, 그리고 생명의 연속성과 관련된 내용을 나타내는 유성 생식과 발생의 과정, 유전 형질 등의 다양한 개념들이 있었고, 이 개념들이 현행 교육과정에서는 사람 중심으로 다루어지고 있음을 알 수 있었다(표 IV-46, 표 IV-65).

세포 개념은 생명의 기본 단위로서 세포 소기관, 생물의 유기적 구성과 관련된 개념들을 이끄는 개념일 뿐만 아니라, 광합성과 세포 호흡과 같은 물질 대사에 대한 내용, 생명의 연속성과 관련된 세포 분열관련 내용, 원시 지구에서 일어난 화학적 진화와 원시 세포의 진화에 대한 내용 등과 연결되는 작은 생물학(세포, 분자 수준)을 대표하는 핵심 개념으로 나타났다(표 IV-5, 표 IV-39, 표 IV-53, 표 IV-63, 표 IV-77). 또한 세포 개념은

교육과정 전체 내용에서 출현 빈도가 835회로 가장 빈도가 높았고(표 IV-4) 현행 교과서 전체 내용에 대한 주요 개념 관계망(그림 IV-2, 그림 IV-3)과 각 학교급별 교과서의 내용에서도 높은 중심성을 나타내고 있었다. 중학교 이후의 교과서에서는 세포 개념이 여러 핵심 주제를 연결하는 중심 개념으로 나타났다. 특히 여러 학교급의 교과서에서 유기적 구성, 물질대사, 연속성 주제가 세포 개념을 중심으로 연결되고 있어 세포 개념이 이들 주제 간의 수평적 연계성이 높이는 핵심 개념임을 알 수 있었다(그림 IV-8, 그림 IV-10, 그림 IV-12, 그림 IV-14).

생물 개념은 주로 생물의 다양성과 생물의 상호작용에 대한 내용과 함께 묶여 생물의 분류와 진화와 관련된 큰 생물학(개체 수준 이상)의 핵심 주제들을 대표하고 있었다(표 IV-35, 표 IV-49, 표 IV-56, 표 IV-73, 표 IV-85).

3. 생명 영역의 핵심 주제에 대한 학교급별 연계성

1) 각 핵심 주제(main theme)에 대한 학습량의 학교급별 편중

앞서 학교급별 교과서에 포함된 문장 및 개념의 수 증감을 분석한 결과에서 학교급이 올라갈수록 개념의 증가폭이 커지고 있음을 알 수 있었다(표 IV-1). 이러한 경향은 생물학의 핵심 주제별로 학교급에 따른 연계성을 분석한 결과에서도 대부분의 핵심 주제에서 해당 주제를 다루는 최상위 학년의 교과서에서 가장 많은 개념이 사용되고 있음을 알 수 있었다.

핵심 주제별로 학교급에 따른 학습량의 변화를 살펴보면 교과서에 포함되고 있는 개념의 증감 양상이 핵심 주제별로 따라 조금씩 다른 양상을 보이고 있었다. 학습 내용에 포함된 개념의 양적인 면에서만 볼 때 학습량이 학교급에 따라 큰 변동 폭을 보이지 않고 있는 주제는 생물의 유기적 구성 주제와 중학교 이후의 생명의 연속성 주제에 대한 내용이었다(표 IV-89, 표 IV-109). 유기적 구성 주제에 대한 내용이 학교급 간 연계가 잘되고 있는 것으로 나타난 결과는 4차 교육과정의 내용을 분석한 강순자와 김영주(1988)의 연구 결과와도 같은 결과이다. 생명의 연속성에 대한 내용의 경우에는 초등학교와 중학교에서 가르치는 내용에서 양적으로뿐만 아니라 질적으로도 큰 격차가 나타나고 있어 초·중학교 간의 연계성은 낮았다(표 IV-109, 표 IV-115). 이 두 주제에 이외의 주제들은 모두 각 주제별 최상위 학년에 해당하는 생명과학 I 이나 생명과학 II에서 이전 학교급에 비하여 그 내용이 포함하는 개념의 수가 폭증하는 경향을 보였다(표 IV-96, 표 IV-103, 표 IV-109, 표 IV-122).

상위 학년으로 갈수록 이전 학교급에서 학습한 내용에 더 심화된 내용을 학습하게 되므로 상위 학교급에서 다루는 내용이 더 많아지는 것은 당연하고 불가피한 것일 수 있을 것이다. 또 선택과정인 고등학교 과학과 생명과학 I·II의 경우 해당 과목에 흥미를 갖고 있거나 관련 분야로의 진학을 희망하는 학생들이 선택할 가능성이 크기 때문에 학생들의 학습 의욕을

높일 수 있도록 적절한 학습량의 증가와 내용의 심화가 이루어지고 있는 것이라면 이는 긍정적으로 보아야 할 것이다. 하지만 현재와 같이 교과서의 내용 구성이 핵심 주제에 따라 그 학습 내용이 특정 학교급에만 편중되는 상황에서는 학생들은 핵심 주제를 중심으로 한 나선형의 계단을 오르는 경험이 아닌 암벽 타기의 경험을 하게 될 가능성이 크다. 따라서 각 학교급의 교과서에서는 학생들의 인지 발달 단계에 따라 생물학의 핵심 주제에 대한 적절한 학습량과 학습 내용이 제공되어야 하고, 이를 통해 학생들이 생물학에 대한 흥미를 잃지 않고 지식의 점진적 증가와 통합적 이해를 경험할 수 있도록 구성될 필요가 있다.

이를 위해서는 각 학교급 현장의 수업에서 교사들이 이전 학교급의 학습 내용과 이후 학교급 교과서에서 다루는 내용과의 연계성을 충분히 고려한 후 학생들에게 학습할 내용을 조정하여 제공할 수 있어야 할 것이다(교육과학기술부, 2011). 따라서 각 급 학교의 교사들은 자신이 속한 학교급 외의 다른 학교급에서 가르쳐지고 있는 교육내용에 대해 충분히 이해하고 숙지할 필요가 있다(남수경 등, 2010). 이러한 관점에서 본 연구를 통해 얻어진 학교급별 교과서의 내용에 대한 개념 관계망과 그 연계성에 대한 분석 결과는 현장의 교사들에게 다른 학교급에서 가르쳐지고 있는 교육 내용에 대한 이해를 제공할 수 있을 것이다. 이를 통해 저학년을 가르치는 교사는 상급 학교에서 심화되는 과학 내용을 염두에 두면서 연계성을 고려한 수업을 할 수 있을 것이고, 상급 학교의 교사는 학생들의 사전 지식을 알고 불필요한 반복을 줄임과 동시에 선수 학습 내용을 심화하는 내용에 집중된 효과적인 수업이 가능해질 것이다.

2) 생물학의 핵심 주제별로 학교급에 따라 반복되고 있는 내용

본 연구를 통해 각 핵심 주제별 학습 내용 중 학교급별 교과서에서 반복되고 있는 것으로 나타난 내용은 다음과 같다.

(1) 유기적 구성 주제

생물의 유기적 구성에 대한 학교급별 연계성 분석 결과 고등학교 생명과학 I 에서 다루어지는 내용 중 골지체와 소포체 등의 일부 세포 소기관에 대한 내용을 제외하고는 대부분의 내용이 이미 중학교와 고등학교 과학에서 선수 학습된 내용이 반복되고 있는 것으로 나타났다(그림 IV-18). 또 이 내용 중 세포 소기관에 대한 내용은 생명과학 II 에서 다시 심화되어 다루어지고 있었다(그림 IV-19, 표 IV-95).

(2) 물질대사 주제

생명과학 I 교과서의 물질대사에 대한 내용은 동화 작용과 이화 작용을 설명하고 있다는 것 외에는 중학교와 고등학교 과학에서 학습한 내용을 종합하고 있기 때문에 추가적인 학습 내용 보다는 반복되는 내용이 많았다(그림 IV-23, 표 IV-102).

물질대사와 관련하여 특히 광합성에 대한 내용은 초등학교, 중학교, 고등학교 과학, 생명과학 II 에서 지속적으로 다루어지고 있는 내용이었다(표 IV-102).

(3) 항상성 주제

항상성 핵심 주제와 관련하여서는 고등학교 과학 교과서의 인류의 건강과 과학 기술단원에 포함되고 있는 면역 관련 내용이 고등학교 생명과학 I 에서 반복되고, 더 심화되어 발전적으로 다루어지는 것을 알 수 있었다(그림 IV-27, 그림 IV-28).

(4) 생명의 연속성 주제

생명의 연속성과 관련하여서는 유성 생식과 감수 분열과정 대한 내용이 중학교와 고등학교 과학, 고등학교 생명과학 I 에서, 멘델의 유전원리에 대한 내용은 중학교 과학, 고등학교 생명과학 I 에서, 염색체와 DNA의 구조에 대한 내용은 고등학교 과학과 생명과학 I 에서 반복적으로 다루어지고 있었다(그림 IV-30 ~ 그림 IV-32, 표 IV-115). 특히 감수분열을 통한 생식세포의 형성과 유성 생식을 연결 짓는 내용이 강조되고 있었다.

(5) 진화와 다양성 주제

진화와 관련하여서는 고등학교 과학과 생명과학 II 에서 화학적 진화, 세포내 공생을 통한 원핵 생물에서 진핵 생물로의 진화, 단세포 생물에서 다세포 생물로의 진화에 대한 내용이 반복되고 있었다. 생물의 다양성과 관련하여서는 중학교와 고등학교 생명과학 II 에서 생물의 분류 단계에 대한 내용이 반복되고 분류 체계에 대한 내용은 5계 분류체계에서 3역 6계 분류체계로 발전되고 있었다(그림 IV-35, 그림 IV-37, 표 IV-121).

(6) 상호작용 주제

생명의 상호작용 특성과 관련하여서는 초등학교와 고등학교 과학, 고등학교 생명과학 I 에서 생태계를 구성하는 생물(생산자, 소비자, 분해자)과 비생물적 환경 요인과 그들 사이의 관계(먹이사슬, 먹이그물, 생태피라미드)에 대한 내용이 반복적으로 다루어지고 있었다(그림 IV-38 ~ 그림 IV-40, 표 IV-126).

이와 같이 학교급이 달라져도 계속적으로 반복되고 있는 내용들은 불필요하게 반복되고 있는 내용일 수도 있고, 반대로 해당 영역의 내용을 대표하는 핵심적인 지식의 구조에 해당하는 내용, 또는 다른 영역의 내용을 학습하기 위해 함께 다루어져야 하는 핵심 주제들을 통합하는 개념일 수 있다. 예를 들어 광합성 개념은 식물 기관의 유기적 구성 단계와 기능을 설

명하는 데, 세포 내의 물질대사 과정인 탄소 동화 작용을 설명하는 데, 생태계에서의 물질의 순환을 설명하는 데, 원시 지구에서의 환경 변화와 진화의 역사를 설명하는 데에 모두 사용될 수 있는 통합적 기능을 가진 개념으로 볼 수 있다. 따라서 본 연구에서 학교급별로 중복되고 있는 것으로 나타난 내용들에 대해서는 각 학교급에서 해당 내용을 다룰 때 학생들의 지식 발달 상황에 따라 생물학의 통합적인 이해를 위해 꼭 필요한 내용은 강조해서 다루고 불필요한 반복은 최소화하여 학생들에게 학습 부담이 가중되지 않도록 교과서 내용을 조정할 필요가 있을 것으로 보인다.

3) 핵심 주제별로 학교급에 따라 학습 내용의 수준이 격차를 보이는 내용

각 핵심 주제별 학습 내용 중 학교급별 교과서에서 그 학습량이나 내용의 심화 정도가 이전 학교급의 비해 큰 격차를 보이고 있는 내용은 다음과 같았다.

(1) 물질대사 주제

물질대사와 관련한 학습내용은 이전 학교급에 비하여 생명과학Ⅱ에서 급격한 학습량의 증가(표 IV-96)와 내용의 심화를 나타내고 있었다(그림 IV-24, 표 IV-102). 이는 이전 학교급에서는 물질대사의 장소와 반응물, 생성물만 다루던 내용이 갑자기 분자 수준의 화학 반응에 관여하는 효소와 중간 산물까지 다루는 내용으로 심화되었기 때문이다. 따라서 이 내용에 대해서는 생명 영역 내에서의 연계성뿐만 아니라 화학 교과와의 연계성과 학생들의 학습 가능성을 종합적으로 고려하여 내용의 수준이 적합한지 검토할 필요가 있을 것이다.

(2) 생명의 연속성 주제

생물의 연속성과 관련하여서는 초등학교에서는 주로 동물과 식물의 구조 및 발생 과정 등을 나타내는 구체적 개념들을 중심으로 내용이 구성되

었던 것과는 달리, 중학교에서는 생명의 연속성에 관련된 내용에서 직접 관찰하기 어렵거나 추상적인 개념들이 매우 많이 도입되고 있었다(그림 IV-30, 표 IV-111, 표 IV-115). 이는 2007 개정 교육과정에서 10학년에서 다루었던 ‘유전과 진화’의 내용이 7-9 학년군으로 이동하면서 중학생의 수준에 맞도록 재구성되기는 하였으나(한국과학창의재단, 2011), 초등학교 교과서에서는 이에 내용에 대한 연계성이 충분하게 고려되지 못했음을 시사하는 것이다. 따라서 중학교에서 해당 내용을 가르칠 때에는 학생들이 초등학교에서 학습한 한살이, 짝짓기, 암수, 알 등의 개념을 중학교 교과서에서 다루어지는 발생, 생식, 수정란 등의 관련 개념과 연결하여 이해할 수 있도록 교사가 적절한 설명을 제공해야 할 것이다.

생명과학Ⅱ 교과서에서는 생명의 연속성에 대한 내용 중 DNA의 유전 정보인 유전자가 발현되고 조절되는 과정에 특화된 내용을 자세하게 다루고 있어 이전 학교급에서 다루었던 연속성 관련 내용과 차별성을 나타내었다(그림 IV-33, 표 IV-114, 표 IV-115). 이는 7차 교육과정의 교과서의 유전 관련 단위 내용의 수직적 연계성을 분석한 강연경과 송방호(2008)의 연구에서 11~12학년이 되면서 분자 수준의 유전자 구조 및 발현, 생명공학 관련 내용이 현저히 증가함으로 인해 고등학교에서 학년급간에 격차가 크게 나타난 결과와 일치하는 것이다. 따라서 생명의 연속성 관련한 내용이 고등학교 상급 학년에서 학습량과 내용 수준에서 격차를 나타내는 것은 2009 개정 교육과정에서만 나타나고 있는 문제가 아닌 여러 교육과정에서 지속 되어온 것임을 짐작할 수 있다. 따라서 이렇게 지속되고 있는 연계성의 격차가 고등학생들의 인지 발달 수준에 비추어 볼 때 수용 가능한 것인지 점검해 보아야 할 필요가 있다. 그리고 생명과학Ⅱ의 내용을 학습하고 해당 분야로 진학하게 될 학생들에게 꼭 필요한 내용이 적절하게 다루어지고 있는지에 대해서도 대학에서 가르치고 있는 내용과의 연계성을 검토할 필요가 있을 것이다.

유전자의 발현과 조절에 대한 내용은 생명과학Ⅱ 교과서에서 함께 다루는 유기적 구성과 생명 공학 기술 관련 주제의 내용과 밀접한 연계성을 나

타내는 내용이다(표 IV-94, 표 IV-131). 따라서 학교에서 이 내용을 가르칠 때에는 학생들이 이 내용들을 따로따로 학습하기 보다는 통합적으로 학습할 수 있도록 교사가 내용을 재구성하여 가르칠 필요가 있을 것이다.

(3) 생명공학 기술 주제

생명공학 기술과 관련하여서는 해당 내용을 다루는 고등학교 과학 이하의 학교급 교과서에서는 그 내용이 생명 공학 또는 과학 기술의 이용이 우리의 생활에 가져다주는 이로움과 사례들에 대해서만 다루고 있었다. 따라서 생명 공학 기술 자체의 원리에 대해서는 생명과학Ⅱ 교과서에서만 다루어지고 있음을 알 수 있었다(그림 IV-44, 표 IV-131, 표 IV-132). 또 다른 한편으로는 생명공학 기술에 관련된 개념들은 교육과정 전체에 대한 주요 개념 관계망(그림 IV-2)이나 생명과학Ⅱ 교과서에 대한 주요 개념 관계망(그림 IV-13)에서 별도의 개념군을 형성하거나 중요 개념으로 도드라져 나타나고 있지 않고 있었다. 이는 해당 내용들이 교과서에서 반복적으로 강조되고 있지 못하고, 나열식으로만 제시되고 있음을 보여주는 것이다. 이러한 결과는 7차 교육과정에 따라 발행된 고등학교 생물Ⅰ, 생물Ⅱ 교과서의 생명공학 내용을 분석한 연구의 결과에서 교과서에서 여러 가지 생명공학 기술을 소개하는 데에만 그치고 있고, 그 개념들 간의 관계를 연결시키고 있지 못한 것으로 나타난 연구 결과(이충현, 김영수, 2010)와도 일치하는 것이다. 또 생명공학에 대한 고등학생의 인식을 조사한 연구에서 생명공학을 배운 학생들의 생명공학 기술 관련 개념에 대한 인식 정도가 생명공학을 배우지 않은 학생들과 마찬가지로 낮고, 생명공학과 관련한 주요 개념인 제한효소, 재조합 DNA, 단일 클론 항체 등의 개념에 대해서 거의 들어보지도 못 했고 잘 모른다고 답한 결과(이충현, 김영수, 2011)가 교과서의 내용 제시 방법과 연관되어 있을 가능성을 시사한다.

생명 공학 관련 내용은 그 내용이 과학-기술-사회적(STS) 소양과 밀접한 연관성을 지닌다. 특히 생명공학의 발달로 발생하고 있는 다양한 생명 윤리의 문제들에 대한 합리적 의사 결정을 위해서는 학생들이 관련 내용을

충분히 이해할 필요가 있다. 따라서 현재의 교과서에서 생명 공학 관련 내용들이 특정 학교급에 편중되고 있는 문제와 관련 개념들 간의 관계가 충분히 강조되어 다루어지지 않고 있는 문제는 다음 교육과정의 교과서에서는 개선되어야 할 것이다.

4) 학교급별 주요 개념 제시 순서에서 나타난 문제

생물학의 핵심 주제에 대한 학교급별 분석을 통해 각 핵심 주제별로 학교급에 따라 개념의 제시 순서가 적절한지 분석한 결과 일부 핵심 주제에서는 개념의 제시 순서에 문제가 있는 것으로 조사되었다. 물질 대사와 관련해 식물의 호흡에 대한 내용과 진화와 관련된 내용, 과학 탐구 방법과 관련된 내용에서 나타나고 있는 개념 제시 순서의 문제는 다음과 같다.

(1) 식물의 호흡

물질대사 핵심주제와 관련하여 초등학교에서는 식물의 광합성과 동물의 숨쉬기(외호흡)가 다루어지고 있다. 초등학교 과정에서는 호흡에 대하여 3-4학년군의 동물의 생활 단원과 5-6학년군의 우리 몸의 구조와 기능 단원에서 동물과 사람의 외호흡(숨쉬기)만을 다룬다. 식물의 경우 5-6학년 식물의 구조와 기능 단원에서 호흡과 관련해서는 전혀 언급이 없고 광합성과 증산 작용에 대해서만 다루고 있었다(그림 IV-20, 표 IV-97).

식물의 호흡에 대한 내용은 교육과정의 성취기준에서 제시하고 있는 순서(교육과학기술부, 2011)에 따라 중학교 과학1의 광합성 단원에서 처음 다루어지고 있었다(그림 IV-21, 표 IV-40, 표 IV-102).

그런데 이러한 개념의 제시 순서는 식물의 호흡과 관련하여 초등학생과 중학생들 가지는 ‘동물만 호흡하고 식물은 호흡하지 않는다’, ‘광합성은 호흡과 비슷한 것이다’와 같은 다양한 오개념(정완호, 차희영, 최진복, 1992)의 원인이 될 수 있을 것이다.

따라서 초등학교에서 부터 식물의 구조와 기능 대한 내용에서도 광합성

에 관련된 내용뿐만 아니라, ‘모든 생물은 살아가는 데 필요한 에너지를 얻는 과정인 호흡을 해야만 생명을 유지할 수 있다’는 점을 학생들이 분명히 이해할 수 있도록 하는 내용이 포함되어야 할 것이다. 또 그렇게 함으로써 현재는 물의 흡수와 이동에만 초점이 맞추어져 다루어지고 있는 식물의 뿌리와 줄기, 잎 기관들의 호흡 기능에 대한 설명도 가능하게 될 것이다.

(2) 진화의 원리와 관련된 개념

“진화를 통해 비추어보지 않고서는 생물학의 그 무엇도 의미가 없다”(Dobzhansky, 1973)고 할 만큼 진화는 생물학의 여러 분야를 통합하는 핵심적인 아이디어(BSCS, 1993; Bybee, 2013)이다. 따라서 학생들이 생물의 진화에 대해 올바르게 이해하고, 진화에 대한 올바른 이해를 통해 다양한 생명현상을 통합적으로 이해할 수 있도록 교과서에서는 이에 대해 지속적이고 충분한 설명을 제공되어야 할 것이다. 하지만 현행 교과서에서는 진화와 다양성에 주제에 대한 내용의 많은 내용이 고등학교 생명과학Ⅱ에 교과서에 편중되고 있을 뿐만 아니라 한 단원에서 생물의 진화에 관련된 내용과 생물의 분류에 대한 너무 많은 내용들이 함께 다루어지다 보니 관련 내용의 강조도가 낮은 편으로 나타나고 있었다(표 IV-116). 또 진화의 원리를 종합적으로 이해할 수 있기 위해서는 자연 선택 개념과 함께, 적응, 돌연변이, 개체군의 유전자 빈도 변화 등에 대한 이해가 뒷받침되어야 하기 때문에 관련 개념들이 각 학교급에서도 통합적으로 제시되고 연결될 필요가 있음에도 교육과정 상에서 각 개념들이 따로따로 분리되어 제시되고 있음을 알 수 있었다.

초등학교 교과서에서는 생물의 다양성 및 진화와 관련하여 다양한 환경에 적응하여 살아가고 있는 생물의 예를 들고 있었고, 진화 개념에 대한 명시적인 설명이나 도입 없이 적응 개념만을 ‘생물이 오랜 시간에 걸쳐 환경에 맞추어 살아가는 것’으로 간단히 설명한 후 사용하고 있었고 ‘생물-환

경-적응'의 개념 관계가 강조되고 있었다(그림 IV-34, 표 IV-117). 이는 교육과정에서 제시하고 있는 성취기준에 따른 것이다. 적응 개념은 생물의 진화를 이해하기 위해 필요한 주요 개념으로서 '수 세대에 걸쳐 주어진 환경에 더 적합한 행동적, 형태적 또는 생리적 형질을 나타내는 유전자는 자연선택에 의해 다음 세대의 자손에게 전달되는 현상'을 말한다(Anderson, Fisher & Norman, 2002; 권지은, 차희영, 2015). 이와 같이 적응 개념은 변이와 자연선택 개념과 함께 이해되어야 함에도 초등학교 교과서에서는 이에 대한 설명이 없이 적응 개념이 강조되고 있었다. 이처럼 환경에 대한 생물의 적응 개념이 진화 개념과 분리되어 학습될 때, 학생들은 '환경이 악화되었을 때 그 환경을 극복해 나가기 위해, 즉 필요에 의해 그 생물 스스로 환경을 이겨낼 형질을 만들어가는 것이 진화'라는 식의 사고를 하게 되고, 나아가 '진화는 생물들이 사는 환경이 적합하지 않을 때만 일어난다'거나 '진화는 생존에 유리하고 보다 발달된 방향으로만 진행 된다'는 오개념(정완호, 차희영, 1994)을 갖게 되는 것은 아닌지 알아 볼 필요가 있을 것이다.

돌연변이 개념은 생물의 유전적 연속성에서 발생하는 변화로서 진화 현상을 이해하는 데 중요한 개념이다. 이러한 돌연변이 개념은 염색체, 유전자 개념과 함께 생명의 연속성과 관련이 높은 개념으로 해당 개념들과 함께 학습될 때 유의미한 학습이 일어날 가능성이 더 큰 개념이다. 그런데 현행 교육과정의 교과서에서는 돌연변이 개념이 연속성 주제에서 먼저 설명되지 않고 진화와 다양성에 대한 주제에서 '돌연변이는 염색체나 유전자에 변화가 일어나 나타나는 현상으로, 돌연변이 형질은 자손에게 유전될 수 있다'라고 처음으로 설명하고, 이 돌연변이를 진화의 원인 중 하나로 설명하고 있었다(그림 IV-35, 표 IV-118).

돌연변이 개념이 생명의 연속성과 관련지어서 교과서에서 처음 다루어지는 것은 고등학교 생명과학 I 에서 사람의 유전적 이상을 설명하는 내용에서였고(그림 IV-32, 표 IV-113), 교육과정에서도 생명과학 I 의 내용 체

계에서 돌연변이와 관련된 내용이 ‘염색체 이상과 유전자 이상으로 인한 현상을 이해한다’ 라는 다소 모호한 성취기준과 함께 ‘초파리를 이용한 다양한 돌연변이 형질 관찰’을 탐구 활동의 예로 처음 제시되고 있었다(교육과학기술부, 2011).

물론 중학교 과학3에서 유전과 진화 단원을 하나의 단원으로 구성하고 있기 때문에 교사의 적절한 설명만 뒷받침된다면 학생들이 두 단원의 내용을 연계하여 이해하는 데 큰 무리가 없다고 볼 수도 있을 것이다. 하지만 돌연변이가 무엇인지를 연속성에 대한 단원인 유전 단원에서 먼저 관련 개념들과 연결 지어 이해 한 후 진화 단원의 내용을 학습할 수 있도록 교과서에서 내용이 제시된 학생들이 생명의 연속성과 다양성을 통합적으로 이해하는 데 도움이 될 수 있을 것이다.

현대 종합설에서는 진화를 개체가 변하는 것이 아니라 개체군이 변하는 것으로 설명한다. 따라서 진화는 개체의 변화를 포함하는 집단의 변화, 즉 개체군의 변화로 이해되어야 한다(Anderson, Fisher & Norman, 2002). 따라서 진화에 대한 올바른 이해를 위해서는 집단 또는 개체군 개념이 함께 학습되어야 할 것이다. 그런데 현행 교육과정에서 진화에 대하여 처음 학습하게 되는 중학교 교과서에는 개체군 개념이 포함되고 있지 않으며(그림 IV-35), 집단 개념도 돌연변이설에 대한 설명에서 단 1회 나타나고 있었다. 한편, 개체군 개념은 교육과정에 따라 고등학교 생명과학 I 교과서에서 생물의 상호작용과 관련된 단원의 내용에서 처음 설명되고 있었다(그림 IV-40, 표 IV-125). 이는 중학교 교과서에 상호작용 주제가 포함되고 있지 않기 때문에 나타나고 있는 문제로 보인다. 이러한 상황에서는 학생들이 과학을 공통교육과정인 중학교 과학까지만 학습하여서는 생물이 진화하는 원리에 대해 올바른 이해를 얻기 어려울 것이다.

특히 상호작용과 연속성 주제에 대한 내용은 진화와 관련지어 생물학 내용의 통합성을 높일 수 있는 주제들임에도 불구하고 현행 교과서에서는 진화에 대한 주제가 다른 주제들과 잘 연계되지 못하고 있었다(그림 IV-8,

그림 IV-12, 그림 IV-14). 이는 교육과정에서 생물의 진화와 관련하여 각 학교급에서 다루어져야 할 개념들을 구체적으로 제시하지 않고 있기 때문이다. 학생들이 진화에 대해 무엇을 어떻게 학습하게 되는지는 교과서와 교사의 수업에 따라 크게 달라질 것이다. 그러므로 생물의 진화를 이해는데 필요한 관련 개념들이 낮은 학년에서부터 학생들의 인지 발달 수준에 적합한 형태로 함께 설명될 수 있도록 교육과정과 교과서의 내용이 재구성될 필요가 있을 것이다.

(3) 과학 탐구과정 관련 개념

과학교육을 통한 학생들의 창의적 문제 해결력 신장과 융합 인재 교육의 필요성이 강조되면서, 2007 개정 교육과정에서는 자유탐구를 과학과 교육과정에 도입하였고, 2009 개정 교육과정에서는 각 학교급의 도입과 마무리 단원에 탐구 과정과 과학의 본성에 관련한 단원을 두어 과학 탐구 능력을 기르도록 하고 있다. 본 연구에서도 과학의 본성과 과학 탐구에 내용을 생물학의 핵심 주제로 정하고 교과서의 관련 내용을 분석하였다. 현행 교육과정에서 과학 탐구에 대하여 명시적으로 다루고 있는 내용은 다른 생물학 주제에 비하여 가장 적고, 관련 개념들 사이의 관계의 반복 정도(연결 가중치 평균)도 매우 낮게 나타나고 있었다(표 IV-3, 표 IV-88, 표 IV-133).

과학 탐구과정과 관련하여 초등학교에서는 못의 자화에 대한 탐구를, 중학교 과학1과 고등학교 생명과학 I 교과서에서는 에이즈만의 각기병 실험을 예로 들어 가설 검증형 실험 탐구의 과정을 설명하고 있었다. 실험의 설계와 수행에 있어 핵심적인 개념인 변인의 종류와 변인 통제에 관련된 개념은 초등학교에서 1회성으로 다루어지고(표 IV-134) 중학교에서 다루어지지 않다가 고등학교 생명과학 I 교과서에서 설명되고 있었다(표 IV-136, 그림 IV-47).

이와 같이 교과서에서 제시되는 탐구 과정과 관련된 내용이 강조되지 못하고, 주요 개념을 포함하지 않게 된다면 저학년에서부터 자유탐구를 수

행해야 하는 학생들은 과학 탐구의 과정에 대한 충분한 이해가 없는 상태에서 탐구를 수행하게 될 것이다. 최근의 연구 결과들은 실제로 학생들이 과학 탐구과정에 대한 낮은 인식을 가지고 있음을 보여준다. 특히 가설과 변인에 대한 인식의 수준이 낮고, 변인 통제 능력이 부족한 것으로 알려져 있으며(김선자, 최병순, 2005; 박형용, 최승희, 김영수, 2015; 신현화, 김효남, 2010; 엄경화, 김영수, 2012), 이봉우(2005)는 이러한 문제의 원인을 학교에서 탐구 기능에 대한 설명이나 학생들에게 탐구를 어떻게 가르쳐야 하는가에 대한 안내가 심도 있게 다루어지지 않고 있음에 있다고 지적하였다.

과학 탐구과정에 대한 지식은 탐구 활동을 수행하는 과정에서 자연스럽게 학습되는 것이므로 직접적으로 가르치지 않아도 된다는 인식이 현행 탐구 교육의 문제이므로(홍석준, 손연아, 2011), 탐구 기능 및 과정의 교육에 있어 명시적 교수·학습이 이루어질 수 있도록 교과서에서 관련 내용을 체계적으로 다루고 강조할 필요가 있을 것이다. 특히 중학교 교과서에 포함되지 않고 있는 것으로 나타난 변인 통제 관련 개념들은 과학 탐구과정에 대한 명시적 안내 수업만으로도 중학생들이 쉽게 학습할 수 있는 개념으로 알려져 있으므로(최승희, 박형용, 김영수, 2015) 교과서에서 이 내용들을 충분히 다룬다면 학생들의 탐구 능력 향상 기대할 수 있을 것이다.

4. 개념 관계망 분석 결과의 교육적 활용 방안

본 연구에서는 교육과정에 따라 집필된 교과서의 생물학 내용을 개념 관계망으로 시각화하고 이를 양적, 질적으로 분석하였다. 이 연구에서 사용한 개념 관계망 분석 방법과 그로부터 얻은 개념 관계망은 교육과정에서 제시하고 있는 내용이 교과서에서 어떻게 구현되고 있는가를 시각적으로 보여주었고, 이를 통해 생명 영역의 내용에 대한 전체적인 개괄과 함께 직관적인 이해와 분석이 가능하였다. 개념 관계망 분석과 그 시각화 결과의 교육적 활용 가능성에 대해서는 개념체계도(Novak & Gowin, 1984)가 교수·학습 도구로서 가지는 장점과 그 교육적 활용에 대하여 Novak(1990)과 Kinchin(2011)이 제시한 것과 같은 맥락에서 다음과 같이 논의해볼 수 있을 것이다.

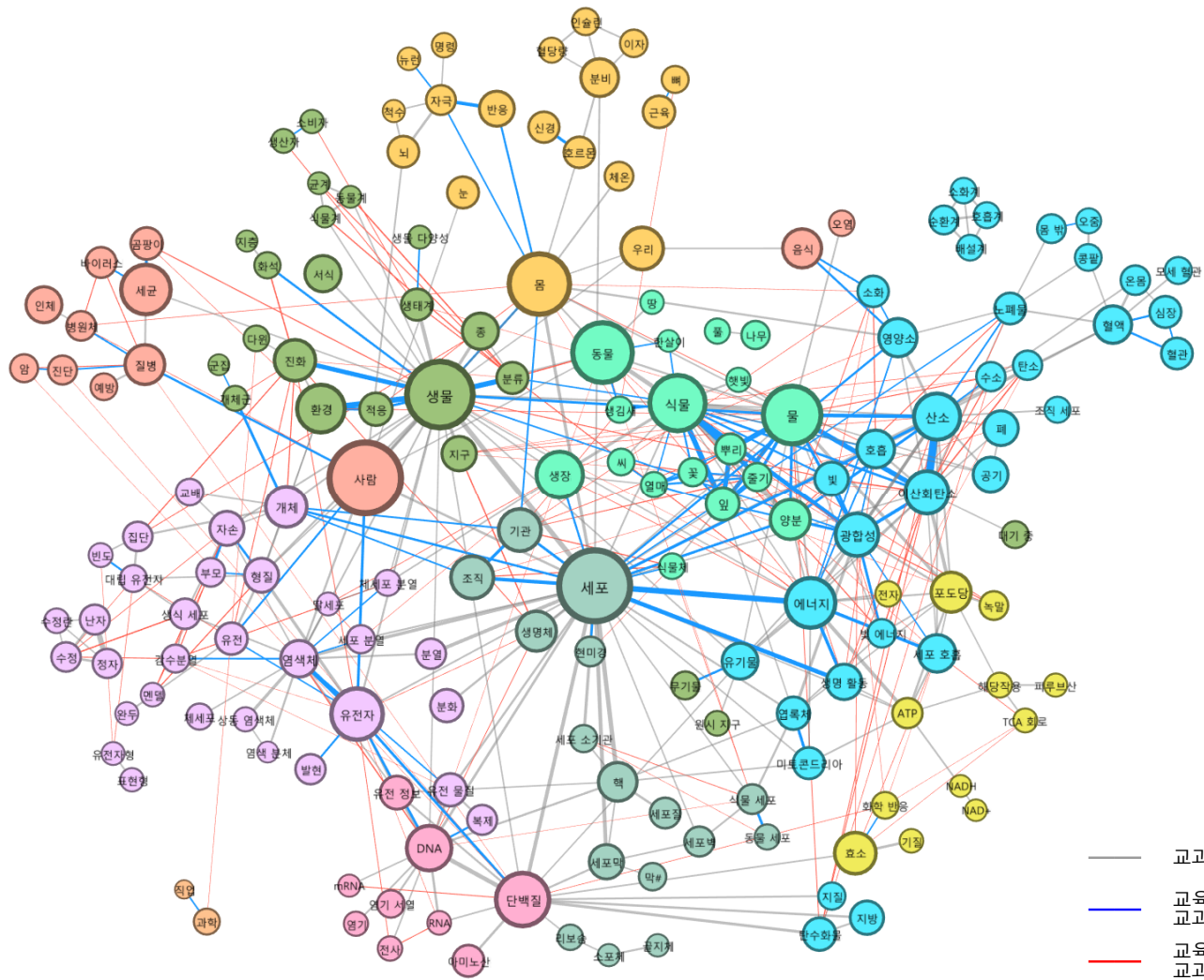
먼저 학교급별 생물 내용에 대한 개념 관계망은 가르쳐야 할 내용의 전체적인 체계를 이루는 주요 개념과 그들 간의 관계에 대한 통찰을 교사들에게 제공해 줄 수 있다. 그리고 이를 통해 교사들은 학생들이 이전 학교급에서 배운 내용과 앞으로 배울 내용 간의 연계성 대해 이해할 수 있게 되고, 나아가 학생들의 유의미 학습을 도울 수 있는 유의미한 수업의 구성이 가능할 것이다. 또 생물학의 핵심 주제를 구성하는 주요 개념과 주요 관계를 나타내는 관계망은 현직 교사뿐만 아니라 예비 교사가 교과 지식 체계에 대한 통합적 관점을 가질 수 있도록 하는 교사 교육의 자료로도 활용될 수 있을 것이다.

그리고 김일순(2006)과 Soyibo(1995)가 교과서의 내용을 개념체계도로 시각화하여 비교 분석하였던 것처럼 둘 이상의 개념 관계망을 비교 분석하는 방법을 통해 교육과정이 제시하고 있는 내용과 실제 교과서가 포함하고 있는 내용 사이에서 나타나는 차이, 또는 출판사별 교과서의 내용에서 나타나는 차이를 비교하는 접근이 가능하다. 또 학생들이 기존에 알고 있는 내용과 학습해야 할 내용 사이에서 나타나는 간극을 알아보거나, 교과서의 내용으로 학습한 후 학생들의 인지구조에서 나타나는 변화를 알아

보는 접근도 이루어질 수 있다. 이러한 접근을 통해 효과적이고 유의미한 학습을 위한 교육 내용의 구성과 제시 방법을 찾는 시도가 이루어질 수 있을 것이다.

예를 들어 <그림 V-1>는 현행 교육과정 교과서의 내용에 대한 주요 개념 관계망(그림 IV-2)과 교육과정의 성취기준에서 제시된 개념 관계망을 비교 분석하고 이를 시각화 한 것이다. 이러한 분석과 시각화 결과를 통해 교육과정에서는 명시되고 있지만 교과서에서는 강조되고 있지 않은 관계, 반대로 교과서에서는 강조되고 있지만 교육과정에는 명시적으로 포함되고 있지 않은 개념과 관계들을 확인할 수 있다. 다시 말해 교육과정에서 제시한 내용이 교과서에서 충분히 강조되지 않고 있는 부분은 무엇인지, 또 교육과정에서 명시적으로 제시하지 않고 있는 내용 중 교과서에서 강조되고 있는 내용은 무엇인지 등에 대한 다각적 분석이 가능하고, 이를 통해 교과서와 교육과정의 개선을 위한 시사점을 얻을 수 있을 것이다.

<그림 V-1>에서 세포 개념은 개념 관계망의 중앙에 위치하고 있어 교과서 생물 내용의 가장 중심이 되는 개념으로 나타났고, 세포 개념을 중심으로 생물의 유기적 구성과 연속성에 대한 내용을 나타내는 관계들이 회색 연결선으로 표시되고 있어 교과서에서는 강조되나 교육과정의 성취기준에서는 이와 관련된 주요 관계들이 명시적으로 제시되지 않고 있는 것을 알 수 있다. 또 초등학교 교과서에서는 세포 개념이 현미경 관련 개념들과 함께 생물의 유기적 구성 주제의 관점에서 주로 다루어지는 데 그치는 반면(그림 IV-15, 표 IV-90), 중학교에서는 세포 개념이 연속성과 관련된 개념들과도 높은 근접도를 보이고 있었다(그림 IV-30, 표 IV-39). 이러한 결과들로부터 연속성 주제와 관련하여 초등학교와 중학교 학교급 사이에서 나타나고 있는 큰 격차의 문제(표 IV-115)를 조금이나마 완화할 수 있는 아이디어로서, 초등학교에서 세포 개념을 중심으로 현미경을 통해 관찰 가능한 핵과 유전 물질의 관계와 형질과 유전 개념 사이의 관계에 대한 내용을 학생들의 인지 발달에 적합한 수준으로 다루어줌으로써 학교급 간 연계성을 높이는 방안 등을 모색해 볼 수 있을 것이다.



Note. 노드의 크기는 각 개념의 연결중심성에 비례, 연결선의 굵기는 관계의 가중치에 비례, 노드의 색상은 노드의 군집에 따라 다름

<그림 V-1> 교과서 전체 및 교육과정 성취기준의 주요 개념 관계망

VI. 결론 및 후속 연구 과제

1. 결론

본 연구에서는 현행 2009 개정 과학과 교육과정에서 실제로 가르쳐지고 학습되어지는 생물학 내용의 핵심 주제와 개념의 체계, 그리고 그 내용의 연계성을 알아보고자 하였다. 이를 위하여 각 학교급별 교과서에 포함된 생명 영역의 내용을 학교급별로, 그리고 생물학의 핵심 주제별로 내용 분석과 개념 관계망 분석 방법으로 분석하였다. 연구를 위하여 텍스트로부터 문장과 개념을 추출하고 각 개념의 빈도, 개념 간의 관계 등을 분석할 수 있는 분석 소프트웨어인 개념관계분석 프로그램(Concept Relation Analyzer)을 개발하였다. 개발된 프로그램은 분석 대상 내용을 데이터베이스에 저장하고, 이에 대한 내용 분석을 통해 개념 관계망을 생성하는 기능을 제공한다. 개발된 분석도구를 사용하여 생물학 내용을 개념 관계망으로 시각화하고 분석한 연구의 결과와 시사점은 다음과 같다.

첫째, 현행 교육과정의 교과서에 포함된 생물학의 핵심 주제를 알아보기 위하여 전체 학교급 교과서의 내용에 대한 주요 개념 관계망을 분석한 결과, 현행 교육과정의 교과서에서는 생명의 6가지 특성인 유기적 구성, 물질대사, 항상성, 연속성, 진화와 다양성, 상호작용에 대한 내용과 생명공학, 과학 탐구과정에 대한 내용이 관계망에서 개념군을 형성하고 있었다. 이를 통해 본 연구에서 이론적으로 설정한 생물학의 핵심 주제가 모두 포함되고 있음을 알 수 있었다. 하지만 주제별로 주요 개념을 포함하는 비율이 달라 주제별 편중 정도와 강조 정도는 상이하게 나타났다. 328개의 주요 개념 중 물질대사와 연속성 주제는 각각 70개, 67개의 주요 개념을 포함하여 주제들에 비하여 더 많은 주요 개념이 포함되고 있었고, 주요 개념 간 관계의 반복 정도도 평균 5회 이상으로 나타나 이 주제에 대한 내용이 현행 교육과정에서 강조되고 있음을 알 수 있다. 유기적 구성 주제에

는 포함된 주요 개념의 수가 생명의 특성을 나타내는 주제 중 가장 적은 22개로 나타났다. 하지만 세포 개념을 중심으로 이 개념들 사이에 형성된 개념의 반복 정도는 평균 8회 이상으로 가장 높은 수치를 보여 관련 내용이 교육과정 전체에서 강조되고 있음을 알 수 있다. 반대로 각 관계의 반복 정도가 낮게 나타난 내용은 탐구과정과 생명공학 주제에 대한 내용으로 나타났다.

둘째, 학교급별 교과서에 나타난 생물학 내용의 핵심 주제와 수평적 연계성을 분석한 결과 학교급에 따라 다루어지지 않는 핵심 주제들이 있음을 알 수 있었다. 특히 생명의 6가지 특성과 관련한 주제와 관련하여 중학교에서는 상호작용에 대한 주제가 다루어지지 않았고, 고등학교 생명과학 I에서는 생명의 다양성 주제, 생명과학 II에서는 항상성과 상호작용 주제가 다루어지지 않고 있었다. 이로 인해 해당 학교급 교과서에서는 내용의 수평적 연계성이 저해되고 있었다. 교과서에서 핵심 주제들 사이의 수평적 연계성이 높은 교과서는 초등학교와 고등학교 과학 교과서로 나타났다. 그리고 중학교 이후의 교과서에서는 세포 개념이 여러 핵심 주제를 연결하는 중심 개념임을 알 수 있었다. 특히 여러 학교급의 교과서에서 세포 개념을 중심으로 유기적 구성, 물질대사, 연속성 주제가 연결되고 있어 이 주제들 간의 수평적 연계성이 높고 세포 개념이 그 연계성을 매개하고 있음을 알 수 있었다.

학교급에 따라 특정 주제를 다루지 않음으로 인해 수평적 연계성이 낮아지게 되면 학생들이 생물학 지식의 내용을 통합적으로 이해할 수 있는 기회가 줄어들게 될 것이다. 특히 생물의 진화와 다양성에 대한 주제와 상호작용 주제는 그 관련성이 높다고 볼 수 있는데 현행 교육과정의 내용 체계에서는 중학교와 고등학교 과학에서 이 두 주제가 함께 다루어지도록 내용이 구성되지 않고 있었다. 따라서 이러한 수평적 연계성 저해의 문제를 해결할 방안이 모색되어야 할 것이며, 현 교육과정의 내용 체계가 학생들에게 생물학 지식의 통합적 이해의 경험을 제공하기에 적절하고 타당한지

에 대한 면밀한 검토가 필요할 것이다.

셋째, 생물학 내용의 핵심 주제에 따른 학교급별 수직적 연계성을 분석한 결과, 현행 교육과정의 교과서에서는 그 내용이 핵심 주제에 따라 특정 학교급에만 편중되고 있음을 알 수 있었다. 생물의 유기적 구성을 제외한 대부분의 핵심 주제에서 개념 수가 특정 학교급에서 급격하게 증가하는 경향이 나타나고 있었다. 이러한 경향은 각 주제별로 해당 주제를 다루는 최상위 학교급인 생명과학 I·II에서 그 주제와 관련하여 이전 학교급에서 다루는 내용 대부분을 반복적으로 포함하고 있었고, 거기에 더하여 발전되고 심화되는 내용이 다루어지고 있기 때문이었다. 특히 생물의 상호작용 핵심 주제에 대한 내용은 중학교에서 전혀 다루어지지 않고 있었기 때문에 낮은 계속성을 보였고, 또 이로 인해 관련 학습 내용이 상급 학교의 교과서인 생명과학 I에서 갑자기 증가하는 경향을 보였다.

학생들에게 제공되는 교과서의 내용은 학교급이 올라감에 따라 그 내용에 포함된 학습 내용이 계열적으로 조직되고 심화되어 개념의 수가 점증하는 형태의 발전적 연계성을 나타내어야 할 것이다. 그러므로 현행 교육과정에서 생명과학 I 과 생명과학 II에서 그 양적 편중을 보이는 주제들에서 학교급에 따라 다루어지는 내용들이 적절한 계속성과 계열성을 나타내고 있는지에 대한 심층적인 연구가 이루어질 필요가 있다. 또 현재와 같은 교육과정의 내용 체계에서는 선택 교육과정인 고등학교 과정의 경우 학생들이 어떤 교과를 선택하느냐에 따라 일부 핵심 주제를 학습하지 않게 될 가능성이 높으므로 이를 보완할 방안이 마련되어야 한다.

넷째, 핵심 주제별 학습 내용 중 학교급별 교과서에서 반복되고 있는 내용이 조사되었다. 대표적으로 세포의 구조, 식물의 광합성, 유성생식과 감수분열, 생태계의 구성 요소에 대한 내용이 여러 학교급에서 반복적으로 다루어지고 있었다. 이 내용들은 각 핵심 주제를 대표하는 지식의 구조에 해당하는 내용, 또는 다른 영역의 내용을 학습하기 위해 함께 다루어져야 하는 통합적 기능을 가진 개념일 수 있다.

따라서 이 내용들이 교과 내용 전체에서 나타내는 위계와 계열성에 대한 심층적 분석이 이루어진다면 생물학 지식의 구조를 밝히는 연구에 밑거름이 될 수 있을 것이다. 또 교사들은 각 학교급에서 해당 내용을 가르칠 때, 이 내용들이 여러 학교급에 걸쳐 반복적으로 다루어지고 있음을 고려하여 수업의 내용을 구성해야 할 것이다. 학생들의 지식 발달 상황에 따라, 생물학의 통합적인 이해를 위해 꼭 필요한 내용은 그 연계성을 강조해서 다루고 불필요한 반복은 최소화할 필요가 있다.

다섯째, 핵심 주제별 학습 내용 중 일부는 학교급별 교과서에서 그 학습량이나 내용의 심화 정도가 이전 학교급에서 다룬 내용에 비하여 큰 격차를 보였다. 고등학교 생명과학Ⅱ에서는 세포에서 일어나는 물질대사와 관련하여 광합성과 세포 호흡에 대한 내용과 생명공학 기술에 대한 내용이, 중학교 과학에서는 생명의 연속성 주제와 관련해서는 초등학교에서 다루어진 내용에 비해 그 양적 내용적 면에서 계속성은 매우 낮고 계열성에서는 비약이 나타나는 큰 격차의 수직적 연계성을 나타내었다.

이러한 내용들에 대해서는 수업을 통해 학생들이 이전 학교급에서 배운 내용, 다른 영역에서 학습한 내용과 연계하여 이해할 수 있도록 교사가 적절한 설명을 추가로 제공해야 할 것이다. 또 앞으로 개정될 교육과정에서는 핵심 주제별 계열성과 핵심 주제간 통합성이 함께 고려된 내용의 체계를 구체적인 개념과 심화 수준을 포함하여 제시될 필요가 있을 것이다.

본 연구를 통해 얻어진 학교급별 교과서의 내용에 대한 개념 관계망과 그 연계성에 대한 분석 결과는 현장의 교사들에게 다른 학교급에서 가르치고 있는 교육 내용에 대한 이해를 제공할 수 있을 것이고, 학생들에게는 학습해야 할 내용에 대한 전체적인 개관을 제공함으로써 생물학의 핵심 주제와 생물학 지식의 구조를 체계적이고 통합적으로 이해할 수 있도록 하는 발판이 될 수 있을 것이다.

2. 후속 연구 과제

본 연구에서는 현행 2009 개정 과학과 교육과정에 의한 교과서의 내용을 분석 대상으로 하여, 현 교육과정에서 가르치고 있는 생물학 지식의 전체적인 체계를 분석함으로써 이를 통해 생물 교육의 개선을 위한 시사점을 얻을 수 있었다. 본 연구의 결과를 바탕으로 다음의 후속 연구들이 이루어질 수 있을 것이다.

첫째, 본 연구를 통해 수립된 연구 방법과 도구는 이후로 새로운 교육과정에 따라 발간될 교과서, 그리고 이전 교육과정에서 발간된 교과서들을 분석할 수 있는 토대가 될 것이다. 따라서 본 연구의 연구 방법과 도구를 활용하여 우리나라 교육과정 전 시기에 걸쳐 생물학 지식의 체계가 어떻게 변화해 오고 있는지 분석할 필요가 있다. 이를 통해 시대의 변화 속에서도 지속적으로 가르쳐지고 있는 생물학의 핵심 주제와 개념을 분석함으로써 생물학 ‘지식의 구조’를 규명해 갈 수 있을 것이다. 또 이러한 과정을 통해 정보와 지식의 급속적인 팽창이 더욱 가속화되고 있는 현실에서 우리는 학생들에게 무엇을 가르쳐야 하는가에 대한 답을 얻을 수 있을 것이다.

둘째, 본 연구에서는 생명 영역의 내용만을 대상으로 연구를 수행하였다. 그런데 과학 탐구 등에 대한 내용은 생명 영역뿐만 아니라 과학교육의 전 영역과 관련되는 내용이다. 또 과학 과목에 포함되는 4개 교과서의 내용에는 각 영역의 지식을 구성하는 고유한 개념뿐만 다른 영역과 공유되는 개념들이 많고, 오늘날의 과학은 그 내용 영역의 경계가 점점 허물어지고 있다. 따라서 생명 영역의 이외의 과학 영역을 포함하는 내용에 대해서도 개념 관계망 분석을 수행하고 이를 통해 각 영역을 연결하는 핵심 개념과 주제를 찾는 연계성 분석이 이루어진다면 과학교육 내용을 통합적으로 탐색할 수 있을 것이고, 이를 통해 교과별 교육 내용의 발전적 융합이 이루어질 수 있을 것이다.

셋째, 본 연구에서는 교과서의 텍스트만을 분석 대상으로 하였으나, 본 연구에서 사용된 연구 방법과 연구 도구는 언어나 문자로 표현된 모든 저작물에 응용이 가능하다. 따라서 본 연구의 방법은 학생이나 교사로부터 유래한 저작물로부터 작성자의 인지구조를 탐색하고 분석하는 데 이용될 수 있을 것이다. 이러한 접근을 통해 학생의 인지 구조의 변화에 대한 다양한 연구가 이루어질 수 있을 것이다.

넷째, 본 연구를 통해 도출된 현행 교과서가 지닌 문제들에 대한 추가적인 연구가 필요하다. 먼저 학생들이 가지는 다양한 오개념이 교과서의 개념 제시 순서에 기인하고 있는지 알아보고, 이에 대한 대안을 마련할 연구가 이루어져야 할 것이다. 또 학생들이 낮은 인식 수준을 보이는 것으로 알려진 생물학의 핵심 주제와 관련해서는 교과서에서 제시되고 있는 내용의 양상이 학생들의 학습에 어떤 영향을 주고 있는지 알아보고, 이를 해소함으로써 효과적이고 유의미한 학습이 일어날 수 있도록 하는 방안을 찾는 연구가 진행되어야 할 것이다.

다섯째, 본 연구를 통해 교과서 생물학 내용에 대한 개념 관계망과 주요 개념과 관계에 대한 분석 결과 데이터베이스가 구축되었다. 이 데이터베이스의 내용을 손쉽게 검색 및 활용 가능한 웹서비스 등의 형태로 교사와 학생, 연구자들에게 공개할 수 있는 시스템을 구축할 필요가 있을 것이다. 이를 통해 이 자료들이 교육 현장에서 다양한 용도로 활용될 수 있도록 함으로써 생물교육의 발전에 기여할 수 있을 것이다. 예를 들어 교과서 내용에서 나타난 개념들 간의 근접도를 바탕으로 수업에서의 개념 제시 순서와 강조 정도를 조정하고, 그에 따라 학생들의 개념 이해도가 어떻게 달라지는지를 알아봄으로써 더 효과적인 수업을 개발하는 연구 등이 이루어질 수 있을 것이다.

VII. 참고 문헌

- 강순자, 김영주(1988). 초·중·고등학교 생물교과서 분석 및 연계성에 대한 연구. 생물교육, 16(1), 1-38.
- 강순자, 김혜수(1992). 미국 BSCS 청판(제6판)과 한국 현행 고등학교 생물 교과서와의 주제 및 수준의 비교연구. 생물교육, 20(1), 1-10.
- 강순자, 허명, 김명선(1993). 우리나라 고등학교 생물영역 교과서와 BSCS 녹판의 교육목표 비교 분석. 생물교육, 21(2), 205-215.
- 강승식(2012). 형태소 분석기 KLT2000(한국어 형태소 분석기) [Computer software]. Retrieved from <http://cafe.daum.net/nlpk>
- 강연경, 송방호(2008). 중등과학 유전 관련 내용의 학교, 학년급간 연계성 분석. 생물교육, 36(4), 429-443.
- 교육과학기술부(2011). 과학과 교육과정. 교육과학기술부 고시 제 2011-361호 [별책 9].
- 구수정, 김영신, 김병석, 이성조, 정완호(2000). 생물학적 소양의 함양을 위한 BSCS 통합 권고안과 6, 7 차 교육과정 비교. 한국과학교육학회지, 20(3), 396-410.
- 구원희(2013). 교육내용 적정화의 쟁점 분석을 통한 교육내용 적정화의 의미 탐색. 학습자중심교과교육연구, 13(2), 285-305.
- 권지은, 차희영(2015). 교사들의 진화 개념 이해 향상을 위한 논변활동 프로그램 효과 분석. 한국과학교육학회지, 35(4), 691-707.
- 권혜련, 김정석, 장남기(2001). 중학교 생물교과서의 개념구조 분석. 생물교육, 29(3), 195-202.
- 김남희, 한화정, 홍보라, 심규철(2012). 고등학교 과학 과목의 생명과학 관련 학습 내용에 관한 과학 융합 요소와 STEAM 요소 분석 및 과학 과목의 생명과학1, 생명과학2와의 연계성. 생물교육, 40(1), 121-131.
- 김동렬(2013). 의미 네트워크 분석법을 활용한 초등 예비교사들이 생각하는 과학에 대한 의미 분석. 초등과학교육, 32(3), 327-345.
- 김상아, 강정배, 변찬석(2015). 언어 네트워크 분석(Semantic Network Analysis)을 이용한 국내 학습장애 연구 동향 분석. 특수교육재활과학연구, 54(2), 449-471.

- 김선자, 최병순(2005). 변인통제 문제해결 과정에서 나타난 초등학생의 실험설계 및 증거제시 특성. 한국과학교육학회지, 25(2), 111-121.
- 김성연, 이선영, 신종호, 최원(2015). 네트워크 텍스트 분석을 활용한 대학 부설 과학영재교육원의 중등수학 강의교재 분석. E-수학교육 논문집, 29(3), 465-489.
- 김영신, 김후자, 손중경, 정재훈(2009). 제7차 교육과정의 초, 중등 생물 수업 목표의 연계성 지도 분석. 한국과학교육학회지, 29(6), 693-711.
- 김용학(2011). 사회연결망분석. 박영사.
- 김용학(2015). 한국 대중가요의 의미 연결망. 대중서사연구, 21(1), 145-171.
- 김일순(2006). 개념 체계도를 활용한 중학교 생물 단원의 지식 체계 분석. 서울대학교 대학원 석사학위 논문.
- 김재춘(2003). 국가 교육과정 개정 담론의 비교 분석 (1): 제 4 차에서 제 7 차에 걸친. 교육과정연구, 21(2), 105-122.
- 김중선, 김규태, 전상학(2010). 한국, 일본 및 미국 BSCS(청판) 생물 교과서의 발생 영역에 관한 내용 분석. 생물교육, 38(1), 123-137.
- 김진숙, 박순경, 최정순, 이효녕, 송지윤, 박영미(2013). 초·중등학교 교육과정 연계성에 대한 국제비교. 연구보고 RRC 2013-3.
- 김현수(2006). 학과 교육과정·교과서의 변천과 발전 방향. 교과서연구, 48, 12-19.
- 김현수(2012). 우리나라 과학과 교육과정 개정 과정에 관한 연구 : 교수요목기부터 2009 개정 교육과정까지. 서울대학교 대학원 박사학위 논문.
- 김현아, 이동준, 이준규(2006). 중학교 과학 교과서 생명의 연속성 관련 단원의 개념 수준과 구성 체제 분석. 생물교육, 34(3), 342-354.
- 남수경, 이근호, 송경오(2010). 유·초·중·고등교육의 학교급간 연계교육 현황 진단. 교육과학기술부 연구보고.
- 민현식, 백순근, 김태웅, 김찬중, 이의갑, 김희규(2008). 공교육 정상화를 위한 기초연구: 서울대학교-한국교육과정평가원 협동연구과제. 한국교육과정평가원 보고서 PRO 2008-2.

- 박경진, 정덕호, 조규성(2013). 언어네트워크분석을 이용한 야외지질학습 전후의 퇴적암에 대한 개념 구조 변화 분석. 한국지구과학회지, 34(2), 173-186.
- 박별나, 이윤경, 구자을, 홍영수, 김학용(2010). 고등학교 과학 및 생물교과서 과학용어 네트워크 분석. 한국콘텐츠학회논문지, 10(5), 427-435.
- 박재근, 강호감, 김용진(2007). 초등 교육과정에서 과학과의 생물 영역과 타 교과의 내용 연계성에 대한 분석. 초등과학교육, 26(1), 63-75.
- 박치성, 정지원(2013). 텍스트 네트워크 분석: 사회적 인식 네트워크(socio-cognitive network) 분석을 통한 정책이해관계자 간 공유된 의미 파악 사례. 정부학연구, 19(2), 73-108.
- 박현주, 김영민, 노석구, 정진수, 이은아, 유은정, 백윤수(2012). 과학교육 내용표준 개발. 한국과학교육학회지, 32(4), 729-750.
- 백성혜, 김효남, 조부경(2000). 유아, 초등, 중등 과학교육과정의 연계성 분석을 위한 도구 개발. 한국과학교육학회지, 20(2), 262-273.
- 백윤수, 김영민, 노석구, 박현주, 정진수, 유은정, 이동욱(2011). 과학교육 내용표준 개발연구.
- 송순희, 김윤영(1998). 초·중·고 수학교과서 해석영역의 연계성에 관한 연구. 수학교육, 37(1), 87-99.
- 송순희, 이영하, 이종록, 김성원, 강순희, 박종윤, 강순자, 김규한, 유계화(1991). 수학 및 과학 교과내용의 연계성 분석을 위한 준거모형 설정과 예시적 분석. 한국과학교육학회지, 11(2), 119-131.
- 신세호, 광병선, 김재복(1981). 교육과정 개정안(총론)의 연구·개발. 한국교육개발원 연구보고 제133집.
- 신영준(2004). 국민공통 기본 교육과정 과학과 생명영역에서의 탐구 활동 연계성 분석. 생물교육, 32(2), 135-141.
- 신이섭(2011). 2009 개정 교육과정에 따른 과학과 교육과정 연구. 한국과학창의재단 연구 보고 정책연구 2011-10
- 신현화, 김효남(2010). 초등학교 과학과 자유탐구 활동에서 교사와 학생이 겪는 어려움 분석. 초등과학교육, 29(3), 262-276.
- 심규철, 이부연, 김현섭(2003). 국민공통기본교육과정 과학과의 생명영역 물질대사에 관련한 학습개념 분석. 한국과학교육학회지, 23(6), 627-633.

- 엄경화, 김영수(2012). 고등학생의 과학적 가설에 대한 인식과 가설 설정 능력 조사. 생물교육, 40(3), 357-366.
- 여성희(1999). 초·중·고등학교 생물 영역의 환경 학습 내용의 연계성 분석. 생물교육, 27(4), 295-305.
- 우현주, 차희영(2013). 제 7 차와 2009 개정 과학 교육과정에 따른 중, 고등학교 교과서 내 진화단원의 연계성 분석. 생물교육, 41(4), 618-637.
- 유병선, 박병관(1997). 초·중·고등학교 과학교과서의 환경내용 분석 및 연계성에 관한 연구. 생물교육, 25(1), 75-87.
- 윤은정, 박윤배(2009). 초등학교 과학 교과서 및 실험 관찰 물리영역에 수록된 과학 전문 용어 조사. 초등과학교육, 28(3), 331-339.
- 윤은정, 박윤배(2014). 2009 개정 과학과 교육과정과 중학교 과학 교과서의 과학 용어 사용 연계성 분석. 한국과학교육학회지, 34(7), 667-675.
- 윤진, 전우수(2003). 초·중학생의 과학선호도 실태 비교 분석. 초등과학교육, 22(1), 65-80.
- 윤현진, 이재봉, 김용진, 백성혜, 이기영(2009). 과학과 교육 내용 개선 방안 연구. 한국교육과정평가원 연구보고 RRC 2009-3-4.
- 이봉우(2005). 외국 과학교육과정의 탐구기준 비교 분석. 한국과학교육학회지, 25(7), 873-884.
- 이성영(2011). 읽기(독서)에서의 교육 내용 위계화: 초등 교과서의 이독성 비교 연구-국어, 사회, 과학 교과서를 중심으로. 국어교육학연구, 41, 169-193.
- 이양락, 박재근, 이봉우(2006). 제 7 차 중등학교 과학과 교육과정 내용의 적정성 분석. 한국과학교육학회지, 26(7), 775-789.
- 이양락, 박재근, 이봉우, 한인옥(2005). 제 7 차 초등학교 과학과 교육과정 내용의 적정성 분석 및 평가. 초등과학교육, 24(3), 214-225.
- 이재봉, 김용진, 백성혜, 이기영(2010). 과학과 교육내용 개선을 위한 교육과정 내용 관련 쟁점 분석. 과학교육연구지, 34(1), 140-154.
- 이준기, 하민수(2012). 언어 네트워크 분석법을 통한 중학교 과학영재들의 사실, 가설, 이론, 법칙과 과학적인 것의 의미에 대한 인식 조사. 한국과학교육학회지, 32(5), 823-840.

- 이충현, 김영수(2010). 제 7 차 교육 과정에 따른 고등학교 생물 1 과 생물 2 교과서의 생명공학 내용 분석. 생물교육, 38(3), 423-436.
- 이충현, 김영수(2011). 생명공학에 대한 고등학생의 인식 조사. 생물교육, 39(1), 152-165.
- 이효녕, 여채영(2015). 과학과 교육과정의 연계성 국제 비교: 광합성 개념 중심으로. 한국과학교육학회지, 35(5), 805-815.
- 임성민, 차정호(2005). 한국의 중등 과학 교육과정의 실태와 개선 방안. 대구대학교 학술 논문집, 1(1), 375-397.
- 임수민(2014). 언어네트워크 분석을 통한 세포분열의 개념 간 오류 해결 교수학습 전략 개발 및 적용. 경북대학교 대학원 박사학위 논문.
- 임수민, 김영신(2015). 언어 네트워크 분석을 통한 2009 개정 생명과학 교육과정의 연계성 분석. 생물교육, 43(1), 84-96.
- 정덕호, 이준기, 김선은, 박경진(2013). 언어네트워크분석을 이용한 교육과정 목표와 교과서 학습 목표와의 일치성 분석 - 2009 개정 교육과정의 지구과학 I을 중심으로. 한국지구과학회지, 34(7), 711-726.
- 정승환, 호예담, 송영수(2014). 핵심어 네트워크 분석(network analysis)을 통한 국내 HRD 연구동향 탐색. HRD 연구, 16(3), 1-33.
- 정영근, 박순경(2006). 국가 수준 교육과정에서의 교육내용 적정화 담론 고찰. 교육사상연구, 19, 1-25.
- 정완호, 차희영(1994). 고등학생들의 유전과 진화에 대한 오개념. 한국과학교육학회지, 14(2), 170-183.
- 정완호, 차희영, 최진복(1992). 교사들이 제시한 학생들의 생물 오개념. 한국과학교육학회지, 12(1), 23-33.
- 정완호, 최돈희(1993). 초·중·고등학교 생물 용어의 연계성(連繫性) 비교분석. 생물교육, 21(1), 71-78.
- 정용재, 노재영(1977). BSCS 교과서에 대한 분석적 연구. 생물교육, 5(2), 19-26.
- 정혜영, 정혜영, 손유진(2015). 키워드 네트워크 분석을 통한 유아교사 연구동향 분석. 생태유아교육연구, 14(2), 283-308.
- 정화숙, 박현숙, 임영진, 김자림(2005). 제 7 차 교육과정에 의한 중등 과학 교과서의 광합성 영역에 대한 용어와 탐구의 연계성 분석. 생물교육, 33(2), 196-208.

- 정화숙, 여경환, 임영진, 박강은(2001). 중등 교과서 광합성 영역의 실험(관찰)에 대한 연계성 분석. *생물교육*, 29(3), 230-238.
- 박형용, 최승희, 김영수(2015). 중학교 과학영재 학생의 탐구과정에 대한 인지구조. *생물교육*, 43(1), 37-49.
- 최승희, 박형용, 김영수(2015). 과학 탐구과정 안내 수업에서 나타난 중학교 과학교육연구지 영재 학생의 탐구과정에 대한 인지구조 변화. *생물교육*, 43(3), 276-288.
- 최설매, 문정희, 윤장노, 정진수, 한승기(2012). 두 가지 종류의 공통과학 교과서의 네트워크 분석: 모듈형과 융합형. *새물리*, 62(4), 343-351.
- 최창준, 임낙룡(2001). 제 5, 6 차 교육과정 변천에 따른 고등학교 생물의 유전 단원 분석. *과학과 과학교육 논문지*, 26, 101-124.
- 허경철(2005). 교육과정 총론 개정의 기본 성격과 방향 및 주요 내용. 국가수준 교육과정, 무엇을 어떻게 개정할 것인가? 한국교육과정평가원.
- 홍석준, 손연아(2011). 중학생의 기초 탐구 기능 이해를 위한 명시적 교수. 학습 전략의 개발 및 적용 사례 분석. *한국과학교육학회지*, 31(4), 641-662.
- Alvarez-Hamelin, J. I., Dall'Asta, L., Barrat, A., & Vespignani, A. (2008). k-core decomposition of Internet graphs: hierarchies, self-similarity and measurement biases. *Networks and Heterogeneous Media*, 3(2), 371-393.
- Anderson, D. L., Fisher, K. M., & Norman, G. J. (2002). Development and evaluation of the conceptual inventory of natural selection. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(10), 952-978.
- Anderson, J. R. (1983). A spreading activation theory of memory. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 22(3), 261-295.
- Barabási, A. L., & Albert, R. (1999). Emergence of scaling in random networks. *Science*, 286(5439), 509-512.
- Bastian, M., Heymann, S., & Jacomy, M. (2009). Gephi: An open source software for exploring and manipulating networks. *ICWSM*, 8, 361-362.
- Berelson, B. (1952). *Content Analysis in Communication Research*. Glencoe, IL: Free Press.

- Berners-Lee, T., Hendler, J., & Lassila, O. (2001). The semantic web. A new form of web content that is meaningful to computers will unleash a revolution of new possibilities. *Scientific American*, 284(5), 1-5.
- Biological Science Curriculum Study (BSCS). (1993). *Developing Biological Literacy: A Guide to Developing Secondary and Post-secondary Biology Curricula*. Kendall Hunt Pub Co.
- Blondel, V. D., Guillaume, J. L., Lambiotte, R., & Lefebvre, E. (2008). Fast unfolding of communities in large networks. *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment*, 2008(10), P10008.
- Bruner, J. S. (1977). *The Process of Education*. 1960. Cambridge, MA: Harvard UP.
- Bybee, R. W. (2013). The next generation science standards and the life sciences. *Science & Children*, 50(6), 7-14.
- Carley, K. M. (1993). Coding choices for textual analysis: A comparison of content analysis and map analysis. *Sociological Methodology*, 23, 75-126.
- Carley, K. M. (1994). Extracting culture through textual analysis. *Poetics*, 22(4), 291-312.
- Carley, K. M. (1997). Network text analysis: The Network Position of Concepts. In C. W. Roberts (Ed.), *Text Analysis for the Social Sciences: Methods for Drawing Statistical Inferences from Texts and Transcripts* (pp. 79-100). NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Carley, K. M., & Kaufer, D. S. (1993). Semantic connectivity: An approach for analyzing symbols in semantic networks. *Communication Theory*, 3(3), 183-213.
- Carley, K., M., & Palmquist, M. (1992). Extracting, representing, and analyzing mental models. *Social Forces*, 70(3), 601-636.
- Clifton, C., Cooley, R., & Rennie, J. (2004). TopCat: Data mining for topic identification in a text corpus. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 16(8), 949-964.
- Collins, A. M., & Loftus, E. F. (1975). A spreading-activation theory of semantic processing. *Psychological Review*, 82(6), 407.

- Corman, S. R., Kuhn, T., McPhee, R. D., & Dooley, K. J. (2002). Studying complex discursive systems: Centering resonance analysis of communication. *Human Communication Research*, 28, 157-206.
- Danowski, J. A. (1993). Network analysis of message content. *Progress in Communication Sciences*, 12, 198-221.
- DeLeuil, L. (1998). Transitivity, metaphor and modality: Investigating the link between style and constructivism in science text. Paper presented at the Annual Meeting of the National Association for Research in Science Teaching, San Diego, California, April.
- Diesner, J. (2012). *Uncovering and Managing the Impact of Methodological Choices for the Computational Construction of Socio-technical Networks from Texts* (Unpublished doctoral dissertation). Carnegie Mellon University, Pittsburgh.
- Diesner, J., & Carley, K. M. (2005). Revealing social structure from texts: Meta-matrix text analysis as a novel method for network text analysis. In V. K. Narayanan, & D. J. Armstrong (Eds.), *Causal Mapping for Research in Information Technology* (pp. 81-108). Harrisburg, PA: Idea Group Publishing.
- diSessa, A. A. (2013). A bird's-eye view of the "pieces" vs "coherence" controversy (from the "pieces" side of the fence). In S. Vosniadou (Ed.), *International Handbook of Research on Conceptual Change* (pp. 31-48). NY: Routledge.
- Dobzhansky, T. (1973). Nothing in biology makes any sense except in the light of evolution. *American Biology Teacher*, 35, 125-29.
- Doerfel, M. L., & Barnett, G. A. (1999). A semantic network analysis of the International Communication Association. *Human Communication Research*, 25(4), 589-603.
- Drieger, P. (2013). Semantic network analysis as a method for visual text analytics. *Procedia-social and Behavioral Sciences*, 79, 4-17.
- Freeman, L. C. (1977). A set of measures of centrality based on betweenness. *Sociometry*, 40(1), 35-41.
- Gagne, R. M. (1970). *The Conditions of Learning*. NY: Holt, Rinehart and Winston.

- Helbig, H. (2006). *Knowledge representation and the semantics of natural language*. NY: Springer.
- Hunter, S. (2014). A novel method of network text analysis. *Open Journal of Modern Linguistics*, 4(02), 350.
- Jang, H. Y., & Barnett, G. A. (1994). Cultural differences in organizational communication: A semantic network analysis 1. *Bulletin de Methodologie Sociologique*, 44(1), 31-59.
- Kinchin, I. M. (2011). Visualising knowledge structures in biology: Discipline, curriculum and student understanding. *Journal of Biological Education*, 45(4), 183-189.
- Krippendorff, K. (1980). *Content Analysis: An Introduction to Its Methodology*. CA: Sage.
- Kuhn, T., & Corman, S. (2003). The emergence of homogeneity and heterogeneity in knowledge structures during a planned organizational change. *Communication Monographs*, 70, 198-229.
- Leydesdorff, L. (2007). FullText.exe for Full Text Analysis. URL <http://users.fmg.uva.nl/lleydesdorff/software/fulltext/index.htm>.
- Leydesdorff, L., & Welbers, K. (2011). The semantic mapping of words and co-words in contexts. *Journal of Infometrics*, 5, 469-475.
- Mani, I., & Maybury, M. T. (1999). *Advances in Automatic Text Summarization*. MIT Press.
- Masucci, A. P., & Rodgers, G. J. (2006). Network properties of written human language. *Physical Review E*, 74(2), 026102.
- Mayr, E. (1982). *The Growth of Biological Thought: Diversity, Evolution, and Inheritance*. Harvard University Press.
- McInerney, J. D. (1987). Curriculum development at the Biological Sciences Curriculum Study. *Educational Leadership*, 44(4), 24-28.
- Moody, D. E. (1996). Evolution and the textbook structure of biology. *Science Education*, 80(4), 395-418.
- Myers, J., & O'Brien, E. (1998). Accessing the discourse representation during reading. *Discourse Processes*, 26(2-3), 131-157.

- National Research Council (NRC). (2012). *A Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core ideas*. Washington, DC: National Academies Press.
- National Science Teachers Association (NSTA). (2009). *The Biology Teacher's Handbook*. NSTA.
- Newman, M. E. (2006). Modularity and community structure in networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103(23), 8577-8582.
- Novak, J. D. (1990). Concept mapping: A useful tool for science education. *Journal of Research in Science Teaching*, 27(10), 937-949.
- Novak, J., & Gowin, D. (1984). *Learning How to Learn*. NY: Cambridge University Press.
- Paranyushkin, D. (2010). Text network analysis. In *Conférence du Performing Arts Forum*, Retrived at: <https://issuu.com/deemeetree/docs/text-network-analysis>.
- Paranyushkin, D. (2011). Identifying the pathways for meaning circulation using text network analysis. Berlin: Nodus Labs. Retrived at: <http://noduslabs.com/research/pathways-meaning-circulation-text-network-analysis>.
- Park, H. W., & Leydesdorff, L. (2004). Understanding the KrKwic: A computer program for the analysis of Korean text. *Journal of the Korean Data Analysis Society*, 6(5), 1377-1387.
- Popping, R. (2000). *Computer-assisted Text Analysis*. Sage.
- Popping, R. (2003). Knowledge graphs and network text analysis. *Social Science Information*, 42(1), 91-106.
- Rundgren, C. J., Rundgren, S. N. C., Tseng, Y. H., Lin, P. L., & Chang, C. Y. (2012). Are you SLiM? Developing an instrument for civic scientific literacy measurement (SLiM) based on media coverage. *Public Understanding of Science*, 21(6), 759-773.
- Schwab, J. J. (1962). The concept of the structure of a discipline. *Educational Record*, 43(3), 197-205.
- Schwab, J. J. (1963). *Biology Teachers' Handbook*. American Institute of Biological Sciences. Biological Sciences Curriculum Study.

- Soyibo, K. (1995). Using concept maps to analyze textbook presentations of respiration. *The American Biology Teacher*, 57(6), 344-351.
- Tanaka, K., Takahashi, M., & Tsuda, K. (2013). Comparison of centrality indexes in network japanese text analysis. *International Journal of e-Education, e-Business, e-Management and e-Learning*, 3(1), 37.
- Trigg, R., & Weiser, M. (1986). TEXTNET: A network-based approach to text handling. *ACM Transactions on Information Systems (TOIS)*, 4, 1-23.
- Tseng, Y. H., Chang, C. Y., Rundgren, S. N. C., & Rundgren, C. J. (2010). Mining concept maps from news stories for measuring civic scientific literacy in media. *Computers & Education*, 55(1), 165-177.
- Tyler, R. W. (1949). *Basic Principles of Curriculum and Instruction*. IL: University of Chicago Press.
- Valente, T. W., Coronges, K., Lakon, C., & Costenbader, E. (2008). How correlated are network centrality measures?. *Connections (Toronto, Ont.)*, 28(1), 16.
- Van Atteveldt, W. (2008). *Semantic Network Analysis: Techniques for Extracting, Representing, and Querying Media Content*. Charleston, SC: BookSurge.
- Wasserman, S., & Galaskiewicz, J. (Eds.). (1994). *Advances in Social Network Analysis: Research in the Social and Behavioral Sciences*. Sage.
- Wellington, J., & Osborne, J. (2001). *Language and Literacy in Science Education*. UK: McGraw-Hill Education.
- Wilkins, A. J. (1971). Conjoint frequency, category size, and categorization time. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 10(4), 382-385.
- Yager, R. E. (1983). The importance of terminology in teaching K-12 science. *Journal of Research in Science Teaching*, 20(6), 577-588.

Abstract

Analysis of the Biological Themes and Their Articulations in Science and Biology Textbooks Developed under the 2009 Revised Science Curriculum Using Concept Networks

Park, Hyoung–Yong
Biology Education Major
Department of Science Education
The Graduate School
Seoul National University

This study aims to identify the main themes in biology knowledge which are being taught and learned in the current science curriculum. The study also investigates the articulation and the concept networks of life sciences content in science and biology textbooks as developed under the 2009 revised science curriculum. For the study, textbooks at each school level were subjected to a content analysis and a network analysis according to each school level and each biological theme. First, we developed what is termed the Concept Relation Analyzer (CRA), which was necessary to perform the content analysis and which was required to generate the concept networks from texts of the textbooks. Using the CRA, concept networks from biology knowledge in textbooks were generated. We then analyzed the visualization and network analysis results of the networks both quantitatively and qualitatively. The results of this analysis are summarized below.

First, in the current curriculum textbooks, all eight main themes of biology were included. These include the six characteristics of life (*organization, metabolism, homeostasis, continuity, evolution and diversity, and interaction*), *biotechnology*, and *science inquiry*. However, the number of important concepts included and the degree of emphasis differed depending on the book and according to the theme. The themes of metabolism and continuity contained more important concepts than the other themes, and the relationships among the concepts in the scientific inquiry and biotechnology themes showed a low degree of emphasis.

Second, it was found that some main themes were not being covered at some school levels. Specifically, interaction themes were not covered at the middle school level. This led to a low integration (horizontal articulation) level of the biology content at middle schools. Elementary and high school science textbooks showed a high degree of integration between the main themes, and the ‘cell’ was found to be a central concept that connects several main themes in the middle school and high school textbooks

Third, in the current curriculum textbooks, the biology content was concentrated only at a certain school level according to the main theme. In most themes, except for the organization and continuity themes, the textbooks at the highest school level showed the highest concept-containing rate. It was also found with these books that the amount of knowledge is much greater than in the textbooks at other school levels.

Fourth, topics which were repeatedly being taught at several school levels were found through the vertical articulation analysis of each main theme. For example, the photosynthesis of plants (five times), the structure of cells (three), cellular respiration (three), sexual reproduction and meiosis (three), and the components of the

ecosystem (three) were being taught repeatedly and deeply according to the school level.

Fifth, for certain main themes, it was noted that there was a drastic change in the depth of the knowledge or the extent of the workload in certain textbooks. In the high-school level textbook Life Sciences II, a major gap with regard to the other textbooks was found in the content which deals with the molecular level of a chemical reaction for photosynthesis and cellular respiration; this gap was also noted in the content used to explain various aspects of biotechnology. In the middle school textbook, continuity-related content, including reproduction and development and heredity and evolution topics showed overcrowding and a large gap at deepening levels when compared with the content of the elementary school textbook.

Based on the results and implications of this study, further studies are required for the improvement of biological education. Further, the concept relationship networks and the results of the articulation analyses of the textbooks used at each school level as derived from this study can improve teachers' understanding of the biology content in the textbooks used at each school level in the field. The findings here can also serve as a springboard for students to help construct a systematic and integrated understanding of the main themes in biology as part of their cognitive structure by providing a holistic overview of what they need to learn.

keywords : 2009 revised science curriculum, biology knowledge structure, concept network, biological main themes, articulation, science textbook, biology textbook, content analysis

Student Number : 2009-30408